

EVANDRO CANTÚ

**ELEMENTOS PARA O FORTALECIMENTO DA
MEDIÇÃO DOCENTE NA EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA: APLICAÇÃO NO
ENSINO-APRENDIZAGEM DE REDES DE
COMPUTADORES**

FLORIANÓPOLIS

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ELEMENTOS PARA O FORTALECIMENTO DA
MEDIÇÃO DOCENTE NA EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA: APLICAÇÃO NO
ENSINO-APRENDIZAGEM DE REDES DE
COMPUTADORES**

Tese submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

EVANDRO CANTÚ

Florianópolis, Agosto de 2005.

ELEMENTOS PARA O FORTALECIMENTO DA MEDIAÇÃO DOCENTE NA EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA: APLICAÇÃO NO ENSINO-APRENDIZAGEM DE REDES DE COMPUTADORES

Evandro Cantú

‘Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Automação e Sistemas*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

Prof. Jean Marie Farines, Dr.
Orientador

Prof. Alexandre Trofino Neto, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Jean Marie Farines, Dr. - DAS/UFSC
Presidente

Prof. José André Angotti, Dr. - CED/UFSC

Prof. Liane Margarida Rockenbach Tarouco, Dr. - UFRGS

Prof. Antônio Mauro Barbosa de Oliveira, Dr. - CEFET-CE

Prof. Edla Maria Faust Ramos, Dr. - INF/UFSC

Prof. Vitorio Bruno Mazzola, Dr. - INF/UFSC

Aos Alunos do Ensino Técnico Profissional.

A maneira como encaramos determinado campo de estudo muda à medida que nosso conhecimento sobre ele se expande.

Será útil recordar o simples fato de que nossos antepassados aplicavam os termos ‘horrendo’, ‘pavoroso’ e ‘medonho’ a penhascos rochosos que em nossos dias, com mais justiça, são admirados como ‘grandiosos’, ‘belos’ e ‘imponentes’.

Diário de Robert Falcon Scott, falando sobre a expansão do interesse humano rumo à compreensão dos ambientes selvagens, em “A última expedição: A dramática corrida pela conquista do Pólo Sul”.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao professor Jean Marie Farines pela orientação dedicada, pelas críticas e contribuições sempre bem vindas e, acima de tudo, pelo incentivo em seguir em frente com o trabalho. Ao professor José André Angotti pela interlocução nos assuntos ligados a educação e por haver me iniciado nas idéias da epistemologia construtivista. A professora Edla Faust Ramos por haver me apresentado aos mapas conceituais. Ao professor Walter Bazzo pelo incentivo e pela introdução ao tema Ciência Tecnologia a Sociedade. A professora Liane Tarouco, relatora deste trabalho, e aos demais membros da banca, professores Mauro Oliveira e Vítório Mazolla, pelas sugestões e críticas apresentadas. Aos amigos e colegas DAS/UFSC, muitos de longa data, pelo convívio sempre harmonioso, em particular aos professores Werner Kraus, Daniel Pagano, Ubirajara Moreno e Carlos Montez e aos doutorandos Marcos Vallim, Marcos Vinícios Linhares, Vilemar Gomes da Silva e Rodrigo Sumar pela amizade e por toda sorte de ajuda que recebi durante o desenvolvimento de meu trabalho. Ao secretário da PGEEL Wilson da Silva Costa. Aos amigos e colegas de trabalho do CEFET/SC, unidade São José, pelo apoio e incentivo, e em particular aos professores Eraldo Silveira e Silva, Odilson Tadeu Valle, Saul Silva Caetano, Alexandre Moreira, Jesué Graciliano e Nilva Schroeder que me acompanharam de perto na realização deste trabalho. Ao professor Keith Ross por haver me recebido de forma bastante amigável durante a realização de meu estágio de doutorado no Institut Eurecom, e ao doutorando Fabrice Souvanavong e a pesquisadora Carine Simon pela amizade e acolhida durante as duas oportunidades em que estive na França. Ao programa de bolsas PDEE da Capes pelo apoio logístico e financeiro que permitiram a realização do meu estágio de doutorado. Ao DAS/UFSC pelo apoio financeiro recebido para a participação em congressos. Ao CEFET/SC pelos vários semestres de liberação em tempo integral ou parcial, sem os quais a realização deste trabalho não teria sido possível. Aos meus amigos e colegas da escalada, com os quais compartilho este esporte apaixonante, fonte de força e equilíbrio físico e mental. Aos meus outros colegas e amigos de ontem e de hoje. A meus pais e familiares que sempre apoiaram minhas escolhas. À minha filha Anna Luzia. E finalmente, com especial atenção, à Angela Maria de Souza pelo carinho, companheirismo e apoio incondicionais.

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

ELEMENTOS PARA O FORTALECIMENTO DA MEDIAÇÃO DOCENTE NA EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA: APLICAÇÃO NO ENSINO-APRENDIZAGEM DE REDES DE COMPUTADORES

Evandro Cantú

Agosto/2005

Orientador: Jean Marie Farines (DAS-UFSC)

Co-Orientador: José André Angotti (CED-UFSC)

Área de Concentração: Automação e Sistemas

Palavras-chave: Ensino-Aprendizagem de Redes de Computadores, Educação Tecnológica, Mapas Conceituais

Número de Páginas: xvi + 176

Neste trabalho, apresenta-se e discute-se um conjunto de elementos para o fortalecimento da mediação docente na educação tecnológica, aplicados ao ensino-aprendizagem de redes de computadores. Tais elementos se apóiam em contribuições marcantes da educação contemporânea, em particular a *abordagem temática*, a *aprendizagem significativa*, os *mapas conceituais* e o *currículo espiral*. A partir de uma *abordagem temática*, propõe-se uma nova maneira de selecionar os conhecimentos que serão abordados no processo educacional, os quais são escolhidos a partir de aplicações que os alunos usam no seu cotidiano, o que impulsiona a motivação e abre espaço para discussão do balanço entre tecnologia e sociedade. Uma vez selecionados os conhecimentos, sugere-se a utilização das diretivas da *aprendizagem significativa* e os *mapas conceituais*, como método e ferramenta, respectivamente, para organizar hierarquicamente o conhecimento, dos conceitos mais gerais e inclusivos em direção aos mais específicos. Isso visa facilitar a aquisição e a retenção dos grandes corpos de conhecimento que se manejam na formação escolar de redes de computadores. Com esses elementos, foi construída uma proposta de *organização do conhecimento* de redes de computadores, tendo como foco a Internet. Essa proposta foi utilizada como guia para o planejamento e desenvolvimento em sala de aula de um *módulo de formação* sobre redes de computadores, visto a partir do tema Internet. Durante o desenvolvimento deste módulo de formação, procurou-se também aplicar uma abordagem inspirada no modelo do *currículo espiral*, sendo alguns *conceitos fundamentais* da matéria trabalhados repetidas vezes, cada vez com maior grau de profundidade. Foi realizada uma análise qualitativa da aplicação destas propostas educacionais, incluindo também aspectos relativos à avaliação da aprendizagem. A proposta de *organização do conhecimento* de redes de computadores serviu também de base para a construção de um *ambiente Web*, baseado em mapas conceituais, o qual poderá ser utilizado por professores e alunos de redes de computadores como subsídio para a aprimoramento de suas atividades acadêmicas.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

ELEMENTS TO IMPROVE TEACHER MEDIATION IN TECHNOLOGICAL EDUCATION: APPLICATION TO COMPUTER NETWORK TEACHING AND LEARNING

Evandro Cantú

August/2005

Advisor: Jean Marie Farines (DAS-UFSC)

Co-Advisor: José André Angotti (CED-UFSC)

Area of Concentration: Automation and Systems

Key words: Computer Networks Teaching and Learning, Technological Education, Concepts Maps

Number of Pages: xvi + 176

This work presents and discusses a set of elements to improve teacher mediation in technological education, applied to the teaching and learning of computer networks. These elements are based on modern contributions of contemporary education, namely, the *thematic approach*, *meaningful learning*, *concept maps* and the *spiral curriculum*. Based on a *thematic approach*, a new way is proposed to select the contents that will be explored in the educational process. Concepts are chosen according to the applications that the students normally use. This increases motivation and allows for the discussion of the balance between technology and society. After knowledge is chosen, we propose the use of the directives of *meaningful learning* and *concept maps*, as a method and a tool, respectively, to organize knowledge hierarchically, from general and inclusive concepts to the specific ones. This may facilitate the acquisition and retention of the great knowledge bulks to be dealt with during studies in the field of computer networks. A proposal has been constructed for the *organization of knowledge* on computer networks, focusing the Internet. That proposal has been used as an aid to plan and develop in classroom a *teaching module* on computer networks. During the development of this teaching module, we tried to apply an approach based on the *spiral curriculum*, where some *fundamental concepts* of the teaching subject were introduced many times, each time in greater detail. A qualitative analysis has been performed of the application of the educational proposals, including learning evaluation aspects. The *organization of knowledge* on computer networks was also used to construct a *Web environment*, based on concept maps, which can be used as a guide for computer network teachers and learners to organize and improve their educational activities.

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Sociedade da Informação e o papel da educação | 1 |
| 1.2 | O novo perfil profissional na área tecnológica | 3 |
| 1.3 | A abrangência da formação em redes de computadores na atualidade | 4 |
| 1.4 | A necessidade de mudanças na forma de organização dos cursos tecnológicos: o caso de redes de computadores | 5 |
| 1.5 | Hipóteses para o desenvolvimento do trabalho e resultados esperados | 6 |
| 1.6 | Organização do documento | 7 |
| 2 | Elementos Teóricos para o Fortalecimento da Mediação Docente | 11 |
| 2.1 | Como o ensino tecnológico vem sendo majoritariamente desenvolvido . . . | 12 |
| 2.2 | Fundamentos da cognição | 14 |
| 2.3 | Contribuições da Epistemologia na educação científica e tecnológica | 18 |
| 2.4 | O modelo da <i>aprendizagem significativa</i> como apoio na educação científica e tecnológica | 21 |
| 2.4.1 | Fundamentos e relação com outros modelos de aprendizagem . . . | 21 |
| 2.4.2 | O papel do professor na aprendizagem significativa e sua aplicabilidade em sala de aula | 25 |
| 2.5 | A <i>estrutura</i> e o <i>currículo espiral</i> na educação científica e tecnológica | 28 |
| 2.6 | A <i>abordagem temática</i> na educação científica e tecnológica | 31 |
| 2.7 | <i>Temas significativos</i> e a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade . . . | 35 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.8 | Bases para propostas educacionais que integrem metodologias e conteúdos na educação tecnológica | 37 |
| 3 | Os Mapas Conceituais como Ferramenta Educacional | 39 |
| 3.1 | Definindo os mapas conceituais | 40 |
| 3.2 | Os mapas conceituais e a aprendizagem significativa | 42 |
| 3.3 | Construindo mapas conceituais | 44 |
| 3.3.1 | Diretivas para a construção de mapas conceituais | 44 |
| 3.3.2 | Passos para a construção de mapas conceituais | 46 |
| 3.3.3 | Ferramentas computacionais para auxiliar a construção de mapas conceituais | 47 |
| 3.4 | Utilizando os mapas conceituais | 48 |
| 3.4.1 | Os mapas conceituais no planejamento curricular | 48 |
| 3.4.2 | Os mapas conceituais no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula | 50 |
| 3.4.3 | Os mapas conceituais na avaliação do ensino-aprendizagem | 50 |
| 3.4.4 | Os mapas conceituais como suporte à navegação na <i>Web</i> e ferramentas computacionais de apoio | 51 |
| 3.5 | Conclusões sobre o uso dos mapas conceituais em nossas propostas educacionais | 52 |
| 4 | Seleção e Organização do Conhecimento de Redes de Computadores | 55 |
| 4.1 | Os <i>conceitos fundamentais</i> de redes de computadores a partir de uma visão histórica | 56 |
| 4.1.1 | Os primeiros tempos | 57 |
| 4.1.2 | Desenvolvimento da arquitetura Internet e expansão das redes de computadores | 60 |
| 4.1.3 | Padronização e subdivisão em camadas das redes de computadores | 62 |
| 4.1.4 | Tecnologias visando à integração de serviços nas redes públicas de telecomunicações | 64 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.5 | O triunfo da Internet | 67 |
| 4.1.6 | O futuro: redes sem fio e mobilidade | 68 |
| 4.1.7 | Comentários sobre a importância da evolução histórica das redes no ensino | 69 |
| 4.2 | Organização do conhecimento nos livros-textos de redes de computadores . | 71 |
| 4.2.1 | Os primeiros livros sobre redes de computadores: uma <i>abordagem analítica</i> | 71 |
| 4.2.2 | Organização em <i>camadas</i> dos livros-textos de redes de computadores | 72 |
| 4.2.3 | O foco na Internet | 73 |
| 4.2.4 | Atualizações na bibliografia de redes de computadores | 75 |
| 4.2.5 | Organização e forma de abordagem dos conteúdos nos livros-textos | 76 |
| 4.2.6 | Os livros-textos e a atividade docente | 80 |
| 4.3 | A <i>abordagem temática</i> como critério para a demarcação e seleção dos conhecimentos de redes de computadores | 83 |
| 4.4 | Uma <i>organização do conhecimento</i> alternativa para redes de computadores | 88 |
| 4.4.1 | Visão geral da Internet | 89 |
| 4.4.2 | Visão de uso da Internet | 91 |
| 4.4.3 | Visão estrutural da Internet | 92 |
| 4.4.4 | Redes Locais de Computadores | 98 |
| 4.5 | Linhas guias para a seleção e organização do conhecimento de redes de computadores | 101 |
| 4.6 | Considerações finais sobre a organização do conhecimento de redes de computadores | 102 |
| 5 | Aplicação Educacional no Ensino-Aprendizagem de Redes de Computadores | 105 |
| 5.1 | Um <i>ambiente Web</i> para subsidiar o ensino-aprendizagem de redes de computadores | 105 |
| 5.1.1 | Descrição das ferramentas utilizadas para construir o <i>ambiente Web</i> | 106 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1.2 | Navegação e ações possíveis no <i>ambiente Web</i> | 107 |
| 5.1.3 | Utilização do <i>ambiente Web</i> | 109 |
| 5.2 | Exemplo de uma aplicação educacional no ensino-aprendizagem de redes de computadores | 112 |
| 5.2.1 | Planejamento de um módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet | 112 |
| 5.2.2 | Desenvolvimento do programa do módulo de formação em sala de aula | 115 |
| 5.2.3 | Aprofundamento de um tópico em sala de aula: transferência de dados garantida | 121 |
| 5.2.4 | Avaliação da aprendizagem | 125 |
| 5.2.5 | Conclusões sobre a aplicação das propostas educacionais apresentadas neste exemplo | 131 |
| 6 | Conclusões e Perspectivas | 135 |
| A | Contribuições da Educação | 143 |
| A.1 | Síntese das contribuições da educação | 143 |
| A.2 | Síntese da proposta temática para redes de computadores | 145 |
| B | Livros-Textos de Redes de Computadores | 147 |
| B.1 | A organização em <i>camadas</i> de Tanenbaum (1981) | 147 |
| B.2 | A <i>abordagem ascendente</i> de Tanenbaum (2003) | 149 |
| B.3 | A <i>abordagem top-down</i> com o foco na Internet de Kurose e Ross (2000) . . | 151 |
| B.4 | A <i>abordagem de Sistemas</i> de Peterson e Davie (2000) | 153 |
| B.5 | Os livros-textos mais utilizados sobre redes de computadores | 155 |
| C | Plano de ensino sobre as redes de computadores e a Internet | 157 |
| C.1 | Objetivos | 157 |
| C.2 | Unidade: Visão geral da Internet e as aplicações de rede | 158 |

| | | |
|----------|---|------------|
| C.3 | Unidade: Arquitetura Internet | 160 |
| C.4 | Unidade: Redes Locais de Computadores | 161 |
| D | Materiais Didáticos para Facilitar o Entendimento de Conceitos | 163 |
| D.1 | Analogia entre a comutação de pacotes e o sistema postal | 163 |
| D.2 | Analogia entre a <i>transferência garantida</i> e a compra de uma enciclopédia em fascículos | 164 |
| D.3 | Atividade de teatro utilizada como representação figurativa de conceitos . . | 165 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Aprendizagem Significativa x Aprendizagem Memorística | 23 |
| 2.2 | Diferenciação Progressiva x Recomposição Integrativa | 27 |
| 3.1 | Exemplo de mapa conceitual. | 40 |
| 3.2 | Mapa conceitual descrevendo os mapas conceituais. | 42 |
| 3.3 | Visão geral das redes de computadores. | 45 |
| 3.4 | Passos para a construção de um mapa conceitual. | 47 |
| 4.1 | Conceitos fundamentais nas primeiras redes de computadores. | 60 |
| 4.2 | As camadas do Modelo Internet. | 61 |
| 4.3 | As sete camadas do Modelo de Referência OSI. | 62 |
| 4.4 | Padronização das redes de computadores. | 63 |
| 4.5 | Relação entre as primeiras redes de computadores e outras tecnologias que se seguiram. | 66 |
| 4.6 | Novas tecnologias de redes de computadores. | 69 |
| 4.7 | Temas significativos para delimitar os conhecimentos de redes de computadores. | 86 |
| 4.8 | Mapa conceitual “nível 0”: Visão geral da Internet. | 90 |
| 4.9 | Mapa conceitual “nível 1”: Aplicações Internet. | 92 |
| 4.10 | Mapa conceitual “nível 1”: Arquitetura Internet. | 93 |
| 4.11 | Mapa conceitual “nível 2”: Camada Aplicação da Internet. | 94 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.12 | Mapa conceitual “nível 2”: Camada Transporte da Internet. | 95 |
| 4.13 | Mapa conceitual “nível 2”: Camada Rede da Internet. | 96 |
| 4.14 | Mapa conceitual “nível 2”: Camada Enlace da Internet. | 97 |
| 4.15 | Mapa conceitual “nível 2”: Redes Locais de Computadores. | 98 |
| 4.16 | Mapa conceitual “nível 3”: Rede local Ethernet. | 99 |
| 4.17 | Mapa conceitual “nível 3”: Redes <i>Wireless</i> | 99 |
| 4.18 | Hierarquia de mapas conceituais formando a organização do conhecimento de redes de computadores. | 100 |
| 5.1 | Exemplo do <i>ambiente Web</i> , mostrando um mapa conceitual ligado a outros recursos. | 108 |
| 5.2 | Taxonomia das redes de telecomunicações. | 116 |
| 5.3 | Mapa conceitual “nível 3”:Serviço orientado a conexão. | 124 |
| 5.4 | Mapa conceitual “nível 3”:Serviço não orientado a conexão. | 124 |
| 5.5 | O que é uma rede de computadores e a Internet – Aluno AR. | 126 |
| 5.6 | O que é uma rede de computadores e a Internet – Aluno CH. | 127 |
| 5.7 | Aplicações Internet – Aluno AR. | 128 |
| 5.8 | Aplicações Internet – Aluno CR. | 129 |
| 5.9 | Aplicação WWW – Aluno CR. | 130 |
| 5.10 | Aplicação WWW – Aluno EV. | 130 |
| A.1 | Mapa conceitual com síntese das contribuições da educação. | 144 |
| A.2 | Síntese das idéias envolvidas na <i>abordagem temática</i> | 146 |
| B.1 | Síntese da organização de Tanenbaum (2003). | 150 |
| B.2 | Síntese da organização de Kurose e Ross (2000). | 152 |
| B.3 | Síntese da organização de Peterson e Davie (2000). | 154 |

Capítulo 1

Introdução

O objetivo deste trabalho é contribuir para a melhoria do ensino-aprendizagem na área de redes de computadores, através da proposição de um conjunto de elementos que permitam fortalecer a mediação docente¹, incluindo metodologias, ferramentas e conteúdos de natureza específica, que permitam subsidiar os professores na elaboração do programa dos cursos, no desenvolvimento do ensino-aprendizagem e também na sua avaliação.

Neste capítulo, apresentamos primeiramente uma caracterização do contexto da formação na área redes de computadores nos dias de hoje, o qual deve responder ao grande avanço das tecnologias da informação e comunicação e às mudanças no perfil profissional requerido pela sociedade contemporânea. No caso específico do ensino de redes de computadores, são levantados os problemas e as limitações das metodologias freqüentemente utilizadas no ensino, evidenciando a necessidade de mudanças. São também apresentadas as hipóteses utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, destacando como alternativa possível a aplicação das contribuições da educação no contexto do ensino tecnológico. Por fim, são apresentados os resultados esperados com o trabalho, no sentido de aprimorar o processo de ensino-aprendizagem na área de redes de computadores.

1.1 Sociedade da Informação e o papel da educação

O desenvolvimento tecnológico tem provocado profundas modificações nos modos de vida da sociedade contemporânea. A cada dia, deparamo-nos com novos aparatos tecnológicos e sistemas, sendo que, em particular, as áreas de telecomunicações e informática

¹A *mediação docente* consiste na intervenção do professor, no sentido de estabelecer os critérios para que todos os elementos agregados ao processo de ensino-aprendizagem sejam aplicados, incluindo os modelos de ensino-aprendizagem, os conteúdos, os materiais didáticos e as relações inter-pessoais.

têm presenciado avanços até bem pouco tempo inimagináveis. Os grandes destaques destes avanços são a Internet, os sistemas móveis de comunicação e as novas tecnologias de comunicação, que têm permitido a integração das diversas mídias e conteúdos, todas convergindo para a tecnologia de comunicação digital.

Castells (1999, p. 50) atribui a esta “revolução da tecnologia da informação” a mesma importância histórica que a Revolução Industrial do século XVIII, “induzindo um padrão de descontinuidade nas bases materiais da economia, sociedade e cultura”. Segundo o relatório da Comissão Internacional de Educação da UNESCO (Delors, 2000, p. 64) “esta revolução tecnológica constitui um elemento essencial para a compreensão da nossa modernidade, na medida em que cria formas novas de socialização e, até mesmo, novas definições de identidade cultural e coletiva”. O maior risco, segundo o relatório citado, parece residir na possibilidade de criação de novas rupturas e novos desequilíbrios entre as diversas sociedades. Em função disto, considera-se como responsabilidade dos sistemas educativos “fornecer, a todos, os meios para dominar a proliferação das informações, de as selecionar e hierarquizar, dando mostras de espírito crítico”.

Na mesma direção, o *Livro Verde da Sociedade da Informação* (BRASIL/MCT, 2000, p. 5), aponta que “estas transformações representam uma profunda mudança na organização da sociedade e da economia”, tendo uma importante dimensão social, “em virtude do seu elevado potencial de promover a integração, ao reduzir as distâncias entre pessoas e aumentar o seu nível de informação”. Neste sentido, além das questões vinculadas ao desenvolvimento industrial e competitividade econômica, este documento do Ministério da Ciência e Tecnologia ressalta a oportunidade de o Brasil resgatar sua dívida social, dando destaque para o papel da educação, como podemos observar no parágrafo que abre o capítulo relativo a este tema:

A educação é o elemento-chave na construção de uma sociedade baseada na informação, no conhecimento e no aprendizado. Parte considerável do desnível entre indivíduos, organizações, regiões e países deve-se à desigualdade de oportunidades relativas ao desenvolvimento da capacidade de aprender e concretizar inovações. Por outro lado, educar em uma sociedade da informação significa muito mais que treinar as pessoas para o uso das tecnologias de informação e comunicação: trata-se de investir na criação de competências suficientemente amplas que lhes permitam ter uma atuação efetiva na produção de bens e serviços, tomar decisões fundamentadas no conhecimento, operar com fluência os novos meios e ferramentas em seu trabalho, bem como aplicar criativamente as novas mídias, seja em usos simples e rotineiros, seja em aplicações mais sofisticadas. Trata-se também de formar os indivíduos para “aprender a aprender”, de modo a serem capazes de lidar positivamente com a contínua e acelerada transformação da base tecnológica. (BRASIL/MCT, 2000, p. 38)

Segundo o *Livro Verde*, a formação de recursos humanos nas tecnologias da informação e comunicação é considerada um vetor para o desenvolvimento econômico e social de um país, devendo haver um balanço entre a capacidade de geração, aplicação e uso destas tecnologias e a produção de bens e serviços.

A geração de tecnologias resulta do esforço da comunidade de pesquisa, dirigido ou não para alvos específicos. Tecnologias geradas são objeto de transferência para o setor produtivo, onde ocorre sua aplicação em novos bens e serviços. Finalmente, tecnologias têm larga disseminação mediante uso por parte de clientes dos bens e serviços em que elas estão incorporadas. (BRASIL/MCT, 2000, p. 40)

Para os países em desenvolvimento, pode-se considerar a capacidade de absorver novas tecnologias e de colocá-las em aplicação tão importante quanto a capacidade de gerar essas tecnologias.

No que se refere à formação acadêmica, de acordo com BRASIL/MCT (2000), a geração e a absorção de novos conhecimentos refere-se sobretudo à formação em nível de pós-graduação, bem como de graduação em áreas diretamente relacionadas a estas tecnologias e suas aplicações. A aplicação destas novas tecnologias é o foco central de cursos de graduação que tratam de Tecnologias de Informação e Comunicação, podendo também ser objeto de formação em cursos técnicos de redes de computadores, informática, eletrônica etc. No que se refere aos vários usos das tecnologias, a formação para “alfabetização digital” precisa ser promovida, necessária e urgentemente, em todos os níveis de escolaridade.

O papel da educação na Sociedade da Informação se estende para a formação científica e tecnológica na área de redes de computadores, visto que as tecnologias de redes de computadores estão presentes, de forma subjacente ou explícita, em praticamente todos novos sistemas que configuram esta nova ordem social.

1.2 O novo perfil profissional na área tecnológica

Outra questão que toca a educação tecnológica diz respeito ao perfil requerido para novos profissionais. Demo (1999, p. 29) procura destacar a importância da “capacidade de aprender de modo permanente e reconstrutivo”, associada ao “manejo crítico e criativo do conhecimento”, como instrumentação essencial para a vida e, em particular, para o mundo do trabalho.

Impulsionadas pela dinâmica do desenvolvimento tecnológico e pelas políticas hegemônicas de alcance global, as formas de organização da sociedade têm sofrido mudanças importantes. Observa-se uma flexibilização crescente das relações de trabalho e um movimento

contínuo forçando a adaptação dos trabalhadores para fazer frente à nova realidade. Por um lado, temos o mercado pregando como importantes para o perfil dos novos profissionais qualidades que anteriormente não eram citadas, como a capacidade de aprender-a-aprender, associadas a outros valores humanos, como valorização da ética, criatividade, senso crítico, trabalho cooperativo etc. Por outro lado, estas qualidades sempre foram almejadas como formação das pessoas para a cidadania, reforçando-se ainda mais a necessidade de sua inclusão nos currículos.

No que se refere aos interesses do mercado, é preciso detectar o que move os projetos de educação associados às novas tecnologias, em particular, certos projetos voltados à educação a distância e à utilização de computadores como ferramenta de instrução. Conforme afirma Blikstein (2001), “o objetivo não é, como se divulga, o de formar pessoas mais críticas, mais autônomas, independentes intelectualmente, mas pessoas multifuncionais, que tenham grande habilidade com computador, tenham iniciativa, que tragam inovação à empresa”.

Em consequência, neste trabalho, muito mais que treinar as pessoas para atender o mercado, pretendemos também discutir as formas de investir em uma formação que lhes permita ter uma atuação efetiva no uso, aplicação e geração dos bens e serviços tecnológicos, considerando-os em relação ao contexto social em que estão inseridos.

1.3 A abrangência da formação em redes de computadores na atualidade

No contexto da Sociedade da Informação, a capacitação de recursos humanos para a área de redes de computadores tem sido objeto de discussão entre especialistas da área, envolvendo não somente a questão do conteúdo programático dos cursos, como veremos adiante, mas também a questão abrangência da formação desejada.

Tratando especificamente deste tema, Suruagy et al. (2000) apresentam uma proposta de “plano pedagógico” para o conjunto da “matéria redes de computadores”, na qual definem conjuntos de conhecimentos, abrangendo pré-requisitos e a divisão da matéria em disciplinas, com os respectivos conteúdos, para auxiliar na elaboração de currículos para cursos de graduação na área de computação e informática. De forma similar ao que propõe o *Livro Verde da Sociedade da Informação*, há pouco citado, Suruagy et al. (2000) colocam a necessidade de formar pessoas que entendam da área de redes de computadores para desenvolver e pesquisar, formar pessoas para instalar, administrar e gerenciar a infra-estrutura de redes e formar outros que tenham um conhecimento mais superficial do funcionamento das redes, que lhes permita selecionar a tecnologia mais adequada para suas necessidades específicas.

Estas idéias nos sugerem que a formação de recursos humanos para a área de redes de computadores deve contemplar diferentes enfoques de formação. Um primeiro enfoque, voltado ao uso das tecnologias de rede, pode ser trabalhado em qualquer nível de escolaridade, procurando envolver conhecimentos gerais e abrangentes sobre o funcionamento e estrutura das redes de computadores, de forma que os usuários possam operar com fluência os novos meios e ferramentas em seu trabalho, mantendo um juízo crítico sobre as tecnologias que dão suporte ao funcionamento das aplicações.

Um segundo enfoque de formação, voltado a aplicação das tecnologias de rede, visa à formação de técnicos e engenheiros para instalar, administrar e gerenciar os sistemas e a infra-estrutura de redes. Aqui é necessário, além de uma visão abrangente do domínio das redes de computadores, um aprofundamento das tecnologias atualmente em uso, detalhando os conceitos fundamentais que lhes dão suporte.

O terceiro enfoque visa à formação voltada ao desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações de rede. Para tal, uma ampla visão das diferentes tecnologias de rede é necessária. Os principais problemas e limitações das redes atuais devem ser discutidos, assim como as novas soluções tecnológicas que vem sendo desenvolvidas visando solucioná-los.

No caso específico deste trabalho, seria interessante que propostas educacionais voltadas ao ensino-aprendizagem de redes de computadores contemplassem estes três enfoques de formação.

1.4 A necessidade de mudanças na forma de organização dos cursos tecnológicos: o caso de redes de computadores

A importância da formação tecnológica na área de redes de computadores e a dinâmica das tecnologias associadas a este domínio têm provocado nas escolas dedicadas ao ensino de tecnologia fortes pressões no sentido de adaptarem seus “currículos”² ao novo momento tecnológico.

Todavia, não obstante os esforços que vêm sendo realizados por diferentes instituições, a forma mais comum empregada na organização dos currículos, essencialmente baseados na seleção e transmissão de conteúdos técnicos e científicos, tem sido colocada frente a fortes contradições. Primeiro, com o rápido avanço tecnológico, a massa de novos conhecimentos

²A definição de currículo aqui utilizada refere-se tanto à organização dos cursos em termos de conteúdos programáticos, como também às metodologias de ensino-aprendizagem e avaliação.

que seriam necessários aos futuros profissionais tem crescido excessivamente. São tantos os novos conhecimentos que fica impossível ensinar tudo. Por outro lado, também em função do rápido desenvolvimento tecnológico, o tempo de vida útil dos conhecimentos especializados tem diminuído drasticamente. No domínio das telecomunicações e informática, em menos de cinco anos uma tecnologia pode tornar-se obsoleta. Conhecimentos ou tecnologias atuais possivelmente serão substituídos por outros em um futuro próximo. Prova disto se encontra, por exemplo, no caso das redes de computadores com tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), que é um padrão para transmissão de pacotes em alta velocidade. As pesquisas relativas a esta tecnologia apontavam primeiro para uma integração com a infra-estrutura da Internet e, num futuro próximo, para um possível domínio desta nova tecnologia, o que acabou não acontecendo. Desta forma, reestruturar os currículos pensando exclusivamente nos novos conteúdos a serem ensinados, com certeza, não é a melhor estratégia a ser adotada.

Ainda sobre os conteúdos, mesmo para aqueles conhecimentos científicos ou tecnológicos que mudam pouco, as possibilidades de abordagem aos mesmos sofrem intensa modificação, em função dos novos meios tecnológicos disponíveis. Desta forma, informação e formação dependem um do outro. É preciso sensibilidade e critérios para identificar, no conjunto de informações de diferentes tecnologias, os componentes formativos essenciais para serem trabalhados no processo educacional, principalmente aqueles operados por tecnologias de ponta, como as redes de computadores.

1.5 Hipóteses para o desenvolvimento do trabalho e resultados esperados

Dado o contexto em que está inserida a formação em redes de computadores, se tivermos como meta a inserção dos nossos estudantes na Sociedade da Informação, valorizando a questão do aprendizado permanente, repensar a educação vai requerer, além da preocupação com os novos conhecimentos científicos e tecnológicos, um reestudo das metodologias que tradicionalmente são empregadas, seja na montagem do programa dos cursos, seja no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula e na avaliação. Sobre esta questão, partilhando alguns pressupostos da área da educação, os quais serão discutidos no próximo capítulo, assumimos como hipótese que os aprendizes adquirem novos conhecimentos a partir do que já sabem, seja por experiências vividas, seja por aprendizagens anteriores. Desta forma, buscaremos elementos teóricos que venham ao encontro destes princípios para fundamentar nossas propostas educacionais.

Em segundo lugar, no que se refere aos conteúdos a serem ensinados ou aprendidos, em função das rápidas mudanças tecnológicas, assumimos que os *conhecimentos fundamentais*

da área de redes de computadores devem ser colocados em prioridade quando da elaboração dos currículos. Como *conhecimentos fundamentais* definimos o conjunto de conceitos e tecnologias sobre os quais estão construídas as redes, muitos dos quais se têm mantido praticamente sem mudanças desde as primeiras redes. Este conjunto de conceitos forma o suporte tanto para entender as redes atuais como também abordar aquelas tecnologias que ainda estão por vir. Além disto, é fundamental termos uma preocupação com a forma de *organização do conhecimento*, com vistas a facilitar seu entendimento conceitual e potencializar as aprendizagens futuras.

E por fim, além da aquisição de conhecimentos científicos e técnicos, a formação acadêmica deve propiciar também aos alunos o desenvolvimento de outras qualidades, que incluam a discussão do balanço entre tecnologia e sociedade, em particular quando almejamos a formação de indivíduos com consciência crítica e criatividade, capacidades consideradas essenciais para o exercício da cidadania.

A partir dessas hipóteses iniciais, no próximo capítulo, apresentamos os elementos teóricos escolhidos para fundamentar nossas propostas educacionais para o ensino tecnológico, muitos dos quais extraídos das contribuições da educação.

Como resultado deste trabalho, almejamos formular um conjunto de elementos para o fortalecimento da mediação docente, que dêem conta das especificidades do ensino-aprendizagem de redes de computadores, a partir da proposição de um conjunto de sugestões que auxiliem na elaboração e organização do programa dos cursos e que dê pistas e aponte caminhos para desenvolver o ensino-aprendizagem, incluindo sua avaliação.

1.6 Organização do documento

Na sequência, descrevemos a organização deste documento, a qual inclui os elementos teóricos utilizados para fundamentar nossas propostas educacionais para o ensino-aprendizagem de redes de computadores. Segue-se: a apresentação da ferramenta *mapas conceituais*, utilizada para facilitar a aplicação dos modelos propostos; a apresentação de aspectos ligados a modelagem e organização do conhecimento de redes de computadores a serem desenvolvidos no processo educacional; a proposição de um *ambiente Web*, o qual sintetiza as propostas educacionais apresentadas e que poderá ser utilizado por professores e/ou alunos como subsídio para a organização e melhoria das atividades acadêmicas na área redes de computadores; a apresentação de exemplos de aplicação das idéias e modelos propostos no ensino-aprendizagem de redes de computadores, incluindo uma avaliação qualitativa de sua implementação; e, finalmente, as conclusões e perspectivas deste trabalho

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica utilizada para a elaboração das propostas educacionais apresentadas neste trabalho. Inicialmente, é feita uma caracterização de como a educação tecnológica vem sendo majoritariamente conduzida, apontado seus problemas. Em seguida, são apresentados os fundamentos da cognição, centrados nas idéias de Piaget e Vygotsky, destacando-se a influência destas idéias nos principais modelos de educação. Essas idéias sobre a cognição são também relacionadas com as idéias da epistemologia construtivista. Entre os modelos de educação apresentados e utilizados neste trabalho, tendo como base autores bastante utilizados na atualidade, está o modelo da *aprendizagem significativa*, proposto por David Ausubel, o qual pode ser utilizado para auxiliar na organização do conhecimento a ser trabalhado no desenvolvimento do ensino-aprendizagem, facilitando o processo de aquisição de conceitos. Explora-se também a *abordagem temática*, de Paulo Freire, a qual proporciona uma nova maneira de selecionar os conhecimentos que serão abordados no processo educacional, podendo ainda ser utilizada como elemento para a motivação dos alunos, além de abrir espaço para discussão do balanço entre tecnologia a sociedade. E examinam-se ainda as idéias sobre *estrutura e currículo espiral*, apresentadas pelo educador Jerome Bruner. Estas contribuições formam os eixos principais de nossas propostas para o ensino-aprendizagem de redes de computadores, as quais envolvem o planejamento de cursos, o desenvolvimento destes cursos em sala de aula e também aspectos da avaliação da aprendizagem.

O capítulo 3 apresenta os *mapas conceituais*, desenvolvidos por Joseph Novak, a principal ferramenta da *aprendizagem significativa*, os quais permitem representar graficamente conceitos e suas relações em um domínio específico de conhecimento. Além da definição dos mapas conceituais e de sua relação com a aprendizagem significativa, são apresentados aspectos relativos à sua construção, bem como seus usos e aplicações educacionais. Destaca-se a utilização dos mapas conceituais no planejamento de cursos, como organizadores prévios do conhecimento, para facilitar o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, e também como ferramentas para apoio na avaliação da aprendizagem.

O capítulo 4 discute os *conceitos fundamentais* e a questão da *organização do conhecimento* da área de redes de computadores. O capítulo inicia com uma resenha histórica das redes de computadores, procurando determinar os conceitos fundamentais da área, os quais são importantes para o entendimento de tecnologias em constante transformação. Em seguida, é feita uma análise de como os conhecimentos de redes de computadores são organizados nos principais livros-texto da área, destacando a influência de cada forma de organização no ensino dessa matéria. Na sequência, apresenta-se uma forma de seleção e organização alternativa para os conhecimentos de redes de computadores, baseada nas propostas educacionais aqui apresentadas.

No que se refere ao planejamento de cursos, são apresentadas alternativas tanto para a seleção quanto a organização dos conhecimentos. Para seleção dos conhecimentos, são apli-

cadidas idéias da *abordagem temática*. Para organização dos conceitos, os mesmos são modelados com a ajuda de *mapas conceituais*, seguindo-se as sugestões do modelo da *aprendizagem significativa*. Além de representar os conhecimentos que compõem o currículo de forma hierárquica, explicitando as relações entre os diferentes tópicos e conceitos, esta modelagem poderá também ser utilizada como apoio ao desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula. Os mapas conceituais sugerem uma sequência “ótima” para o encadeamento do material instrucional, facilitando o trabalho do professor no planejamento de suas atividades. No que se refere ao desenvolvimento do ensino-aprendizagem dos *conceitos fundamentais* da área de redes de computadores, baseado nas idéias do *currículo espiral*, são propostas algumas sequências didáticas que permitem implementar estas idéias.

O capítulo 5 apresenta exemplos de aplicação das propostas educacionais aqui apresentadas no ensino-aprendizagem de redes de computadores, além de um *ambiente Web*, construído para subsidiar a aplicação dessas propostas. Este ambiente está estruturado sobre um *modelo de conhecimento* de redes de computadores, construído com a ajuda de mapas conceituais. Ele poderá ser utilizado por professores, ou mesmo alunos de redes de computadores, como apoio ao planejamento e ao desenvolvimento em sala de aula de cursos na área. Também é realizada uma avaliação qualitativa da aplicação destas propostas educacionais no ensino-aprendizagem de redes de computadores .

O capítulo 6 apresenta as conclusões e perspectivas deste trabalho.

Capítulo 2

Elementos Teóricos para o Fortalecimento da Mediação Docente na Educação Tecnológica

Este capítulo apresenta os elementos teóricos utilizados para a elaboração de uma proposta educacional para o ensino-aprendizagem de redes de computadores. Como fontes principais, foram pesquisadas contribuições marcantes da educação contemporânea, além de outros temas relacionados mais especificamente à educação científica e tecnológica.

Inicia-se o capítulo com uma apresentação de como o ensino tecnológico vem sendo majoritariamente desenvolvido, ainda muito influenciado pelas idéias oriundas do *comportamentalismo*. Em seguida, discutem-se os fundamentos da cognição, procurando diferenciar o comportamentalismo das idéias defendidas por Piaget e Vygotsky sobre o processo de cognição humana, estas últimas subjacentes às correntes de educação normalmente referidas como *construtivistas*, escolhidas para serem aplicadas neste trabalho.

Essas novas visões sobre a cognição, ou compreensão da aprendizagem humana, são também relacionadas às idéias da filosofia do conhecimento, ou epistemologia, cujo objetivo central está na explicação da criação do conhecimento científico e da forma de pensar a natureza. Estas idéias são apresentadas no sentido de reforçar a hipótese de que a construção de conceitos pela mente humana se dá a partir dos conhecimentos anteriores, em particular, no que se refere ao aprendizado de conhecimentos complexos, como encontrados nas áreas científicas e tecnológicas.

Dentre as contribuições da educação, foram escolhidas como eixos principais para fundamentar nossas propostas educacionais para o ensino-aprendizagem de redes de computadores as idéias sugeridas pelo modelo da *aprendizagem significativa*, introduzido por David Ausubel, e pelo *ensino temático*, proposto pelo educador Paulo Freire. É apresentado em detalhes

o modelo da *aprendizagem significativa*, o qual foi escolhido por sua ênfase na explicação do processo de aprendizado que acontece no ambiente escolar, como é o caso das áreas científicas e tecnológicas. São apresentados os requisitos para atingir a aprendizagem significativa, em particular no que se refere às formas de organização e seqüenciamento dos conteúdos a serem ensinados ou aprendidos. O *ensino temático* é apresentado no sentido de oferecer um novo modo de selecionar os conteúdos que serão trabalhados no processo educacional, tanto na montagem de um curso como um todo quanto no desenvolvimento de tópicos específicos. As idéias subjacentes ao ensino temático são também relacionadas com o que sugere o movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), o qual defende que o aprendizado das questões técnicas deve levar em consideração também fatores humanos e sociais.

Partindo da hipótese de que os alunos adquirem novos conhecimentos a partir de seus conhecimentos anteriores, em áreas que apresentam forte dinâmica, como é o caso das redes de computadores, deve ser dada importância aos *conceitos fundamentais* da área. Estes conceitos são essenciais para o entendimento das tecnologias atuais, assim como poderão ser de grande valia no entendimento das tecnologias futuras. Para desenvolver estes conceitos, são apresentadas as idéias sobre a aprendizagem da *estrutura* e o *currículo espiral*, propostas pelo educador Jerome Bruner.

2.1 Como o ensino tecnológico vem sendo majoritariamente desenvolvido

Para repensar a formação profissional tendo em vista o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação e os novos requisitos desejados para o perfil profissional, julgamos necessária uma análise das formas majoritariamente utilizadas no desenvolvimento do ensino tecnológico e uma busca de alternativas visando aperfeiçoá-las.

Uma concepção bastante comum no ensino tecnológico de uma forma geral, assim como no ensino de redes de computadores em particular, é aquela na qual o conhecimento é visto como um conjunto de conteúdos científicos e técnicos que os aprendizes precisam dominar para poder resolver problemas ou realizar tarefas em sua atuação profissional. Assim, o que se observa majoritariamente no ensino tecnológico é que os currículos dos cursos são fortemente baseados na transmissão de um conjunto consagrado de conhecimentos aos alunos. Silveira e Carmo (1999) fazem uma excelente descrição desta forma de ensino, chamada pelos autores de “ensino seqüencial”. Nessa forma de ensino, os currículos são organizados como uma seqüência lógica ou histórica de conteúdos programáticos, agrupados em disciplinas, que por sua vez são organizadas como uma seqüência de tópicos também a serem apresentados seqüencialmente em profundidade aos alunos. Desta forma, o foco principal da atividade de ensinar fica centrado no conteúdo e na clareza de sua exposição, sendo um bom

professor aquele que consegue sucesso nesta tarefa. A avaliação do aprendizado enfatiza a verificação de resultados em exercícios padronizados, tendo como base os livros-textos ou as notas de aula, sendo o erro é penalizado. Os estudantes são tratados de forma sincrônica, como se todos eles aprendessem no mesmo ritmo. Cabe ao professor o controle de todo o processo de ensino e, a princípio, ele possui todo o conhecimento. Assim, sua tarefa é transmitir esse conhecimento aos alunos, que permanecem passivos. A motivação dos alunos para o estudo fica a cargo do talento do professor ou da pressão exercida na forma de provas ou trabalhos solicitados.

Por trás desta forma de organizar o ensino está uma forma de conceber como se dá a cognição humana. Como descreveremos sucintamente nos parágrafos seguintes, podemos afirmar que, em parte, há influência dos modelos de pensamento *ambientalista* e *comportamentalista*.

A partir do século XVII, alguns pensadores tentaram usar modelo cartesiano e newtoniano para compreender a natureza humana. Estes pensadores foram chamados de *ambientalistas*. Entre eles estava John Locke, o qual cunhou a expressão “tabula rasa”, segundo a qual “nada existe na mente que não tenha antes passado pelos sentidos” (Ramos, 1996).

Estudos posteriores ampliaram a compreensão dos ambientalistas agregando novos elementos, como o conceito de associação, que define as sensações como elementos básicos que se associam formando estruturas mais complexas, e o conceito de reflexo neurológico, que define uma clara relação causal entre estímulo e resposta.

No século XX estas idéias passaram a ser aplicadas em vários campos da atividade humana, dentre eles a educação. Na área da educação cabe destacar os trabalhos de Watson e Skinner, principais teóricos do modelo cognitivo chamado *comportamentalista*, o qual exerceu, e exerce ainda hoje, grande influência na educação de um modo geral (Ramos, 1996). Só recentemente este modelo tem sido questionado, como veremos adiante.

Os comportamentalistas procuraram explicar como a experiência influencia a aprendizagem, sendo a aprendizagem o processo pelo qual o comportamento é modificado como resultado da experiência. Aplicando estes princípios à educação, passou a ser importante o planejamento do ensino, com a definição clara dos conteúdos e dos objetivos a serem alcançados, com a preparação do ambiente de aprendizagem e das sequências a serem seguidas até o objetivo, bem como a definição de mecanismos de reforço que seriam utilizados. Esta foi sem dúvida a grande contribuição desta corrente para a pedagogia (Ramos, 1996).

De acordo com Ramos (1996), a visão comportamentalista trouxe consequências sérias para a prática pedagógica. Em particular, o aluno é visto como um ser passivo e portanto controlado pelo ambiente. Muito pouca liberdade lhe é dada, a menos que esteja prevista no planejamento do ensino. Em geral, não se levam em conta nem os conhecimentos prévios

dos alunos, nem as relações inter-pessoais ou mesmo as relações entre os alunos e o ambiente que os cerca. Estas são, em geral, consideradas sem importância para a aprendizagem. Falta, portanto, espaço ao desenvolvimento da criatividade e do espírito crítico nos alunos.

Embora ainda majoritária, esta não parece ser a melhor estratégia de ensino a ser adotada em uma área dinâmica e marcada por inovações como as redes de computadores, com grande interferência no comportamento da sociedade. Ademais, importantes estudos têm sido desenvolvidos no campo da educação, como veremos nas próximas seções, questionando esta forma de ensinar e propondo outras alternativas, como Ausubel et al. (1980); Bruner (1973); Freire (1981, 1986); Papert (1988, 1994); Piaget (1990); Vygotsky (1991). Houveram alguns trabalhos visando a aplicação no ensino tecnológico, tomo por exemplo Delizoicov e Angotti (1994); Moreira (1983); Vallim (2000), e outros, raros, no ensino de redes computadores, como Oliveira e Peyrin (1991); Almeida et al. (1993); Tarouco e Dutra (2003).

Muitas das novas formas de pensar a educação estão baseadas, em parte, nos trabalhos pioneiros de Piaget e Vygotsky sobre a cognição humana. Em função disso, na próxima seção apresentamos as principais contribuições destes autores no sentido de melhor compreender como se dá a aprendizagem e, nas sessões seguintes, apresentaremos outras idéias e modelos educacionais que podem ajudar-nos na definição de propostas educacionais alternativas para redes de computadores.

2.2 Fundamentos da cognição

Várias correntes de pensamento procuram explicar o processo de cognição humana. Influenciado pelo *positivismo lógico*, em um extremo do entendimento da cognição, está o *empirismo*, ou *comportamentalismo*, para o qual toda a informação cognitiva está nos objetos. Assim, o sujeito, a partir dos órgãos dos sentidos, recebe informações e vai adquirindo conhecimento, de forma cumulativa, sobre o mundo que o cerca. Esta corrente de pensamento exerceu e ainda exerce forte influência no meio educacional, como citado na seção anterior. No outro extremo, está o *inatismo* ou *apriorismo*, para o qual o sujeito está, desde o início, munido de estruturas endógenas que imporá aos objetos. Algumas escolas, como as chamadas *antroposóficas*, procuram trabalhar mais próximo destas idéias. Por exemplo, no âmbito da pedagogia Waldorf (Lanz, 1998), “educar e ensinar significa promover o pleno desenvolvimento das capacidades latentes do ser humano, fazendo da criança uma pessoa apta a integrar-se no mundo com autoconfiança, consciência e criatividade”. Por outro lado, de acordo com Piaget (1896-1980), pioneiro no estudo do desenvolvimento cognitivo:

O conhecimento não procede, em suas origens, nem de um sujeito consciente de si mesmo, nem de objetos já constituídos que se lhe impoariam: resultaria de interações

que se produzem a meio caminho entre sujeito e objeto, e que dependem, portanto, dos dois ao mesmo tempo. (Piaget, 1990, p. 7)

Segundo Piaget, a própria ação é o instrumento de troca inicial entre sujeito e objeto, e não a percepção como sugere o empirismo.

Os estudos de Piaget, bastante ativo entre os anos trinta e setenta, chamados de epistemologia genética, influenciaram uma corrente de educadores, os quais partem do princípio de que há algum tipo de interação entre o sujeito que conhece e o objeto do conhecimento. Os pensadores destas correntes, conhecidas como *construtivistas*, vêem a relação sujeito-objeto sob o ponto de vista da construção mútua, em que nenhum dos dois é neutro. O aluno é reconhecido como detentor de uma história particular e de conhecimentos construídos por experiências próprias, que devem ser consideradas no processo de ensino; ele não é uma “tabula rasa”, mas um ser ativo em todos os processos de que participa (Ramos, 1996).

Piaget (1990) afirma que a cognição ocorre através de adaptação do aprendiz e de sua interação com o meio ambiente, mudando as suas *estruturas cognitivas*¹. *Desequilíbrios* provocam um processo de *assimilação* de novas experiências e uma *acomodação* à nova realidade. A assimilação envolve a interpretação de eventos em termos das estruturas cognitivas existentes, e a acomodação refere-se à modificação dessas estruturas para fazer frente ao novo ambiente.

O equilíbrio entre a assimilação e a acomodação requer, por parte do aluno, uma atividade de abstração para a extração de informações de objetos ou fenômenos e um processo de reflexão, através da coordenação de suas ações, que utiliza a generalização para a criação de modelos conceituais. Esse processo é conhecido na teoria de Piaget como *equilibração cognitiva*. Através dele, o conhecimento humano é construído em interação com o seu meio físico e sócio-cultural.

Aplicando essas idéias no meio educacional, várias correntes afirmam que ensinar significa provocar *desequilíbrios* na mente do aluno, para que ele, procurando o *reequilíbrio*, se reestruture cognitivamente e aprenda.

Como ponto de partida para a aprendizagem está o reconhecimento do fato que os estudantes, ao chegarem à escola, já possuem conhecimentos prévios, também chamados de *concepções alternativas*, as quais, muitas vezes, contradizem o novo conhecimento a ser aprendido. No caso, uma primeira coisa a ser feita é colocar em cheque estas concepções alternativas, apresentando, por exemplo, contra-exemplos.

¹Para Piaget, as *estruturas cognitivas* do aprendiz são internas e têm que ver com seu modo de pensamento, influenciando o seu processo de cognição.

Também se considera que a realização de atividades experimentais, associadas à possibilidade de os aprendizes cometerem erros e procurarem por soluções para corrigi-los, é vital para a assimilação e acomodação das informações.

Vejamos um exemplo aplicado ao ensino tecnológico:

Se um aluno realizou experimentos sobre o comportamento de um circuito elétrico excitado com diferentes tensões, no processo de reflexão ele estaria apto a representar a dinâmica do circuito, detectando, por exemplo, a inércia do circuito, neste caso particular, o tempo de resposta do circuito. A partir daí, seria possível ao aluno chegar a generalidades, como construir o conceito de inércia para qualquer circuito elétrico. Nesta sequência, primeiramente o aluno diferenciou propriedades, enriquecendo seu objeto de estudo, depois destacou aquelas mais relevantes, levando-o a construir uma nova representação, e finalmente propôs uma teoria que poderia ser aplicada a todos os objetos e operações deste nível. (Silveira e Carmo, 1999, p. 103)²

O trabalho de Silveira e Carmo (1999), fundamentado nas idéias de Piaget, apresenta uma proposta mista para ser aplicada no ensino de engenharia, na qual se procuram expor aos estudantes problemas concretos, que requeiram conhecimentos relativos aos conteúdos da disciplina em estudo. A partir da idéia de “aprender-fazendo”, procura-se mostrar como a ênfase pode ser mudada de conteúdos que devem ser ensinados para atitudes que devem ser adquiridas e problemas que devem ser enfrentados. No que diz respeito aos conteúdos científicos e técnicos, procura-se integrá-los a lógica intrínseca do problema, sendo que os mesmos aparecem no momento em que se fizerem necessários (ou *just-in-time learning*, segundo os autores).

Especificamente na área de redes de computadores, Oliveira e Peyrin (1991) e Almeida et al. (1993) desenvolveram um método, de cunho construtivista, chamado Minhoca, baseado na resolução de problemas. A partir de um conjunto de experimentos, montados sobre uma plataforma simples de comunicação entre computadores, baseada na interface RS-232, os alunos realizam as experiências, que incluem as fases de sensibilização, ou motivação ao estudo, experimentação, análise e síntese dos conhecimentos envolvidos.

Também utilizando uma abordagem construtivista, Tarouco e Dutra (2003) desenvolveram um ambiente de aprendizado orientado a problemas para apoiar o ensino de redes de computadores. Neste ambiente, os alunos podem aprender sobre redes de computadores através da resolução de problemas, de uma forma colaborativa, e com acesso a uma biblioteca de casos, na qual podem analisar problemas similares.

²Tradução livre da referência (Silveira e Carmo, 1999).

Outra corrente de pensamento acerca da cognição tem origem nos trabalhos de Vygotsky (1896-1934), iniciados na década de 20 do último século na União Soviética, mas somente difundidos no ocidente a partir da segunda metade do século. Vygotsky coloca uma grande ênfase sobre a interação social no desenvolvimento da cognição. Para seus seguidores, apesar de muitos pontos em comum com as idéias de Piaget, o meio social dá ao educando as ferramentas cognitivas necessárias para o seu desenvolvimento, podendo ser incluído neste ponto a sua história cultural, o contexto social e a linguagem, havendo um importante espaço para os professores e alunos mais experientes no desenvolvimento do aprendizado.

Talvez o conceito mais conhecido de Vygotsky seja a *zona de desenvolvimento proximal* (Vygotsky, 1991, p. 71, 112), definido como a distância entre o *nível de desenvolvimento real*, que determina aquilo que o indivíduo é capaz de realizar sozinho, e o *nível de desenvolvimento potencial*, que se refere às tarefas que o indivíduo é capaz de realizar mediante a orientação de um adulto ou em cooperação com companheiros mais capazes. Segundo este conceito, um estudante pode, com a ajuda do professor ou de alunos mais avançados, dominar conceitos e idéias que não conseguiria entender sozinho.

Isto traz uma série de implicações para a prática pedagógica. Em particular, coloca o trabalho colaborativo como essencial para aprimoramento do processo de aprendizagem. O papel do professor muda. Não temos mais aquele professor que ensina para que os alunos passivamente aprendam. O professor passa a ser um agente mediador, propondo desafios e ajudando os alunos a resolvê-los, realizando com eles ou proporcionando atividades em grupo, em que os mais adiantados poderão cooperar com os demais.

Em uma aplicação na educação tecnológica, Vallim (2000); Vallim et al. (2000) tomaram como fundamento teórico, para um modelo de ensino-aprendizagem adotado em uma disciplina de introdução à engenharia, o conceito de *equilíbrio cognitiva* de Piaget, o de *mediação* de Vygotsky, além do conceito de *aprendizagem sintônica* de Papert (1988, 1994). O conceito de equilíbrio foi colocado em prática na disciplina, na forma de atividades de projeto e resolução de problemas. A partir da idéia de *mediação*, o professor atua como mediador das interações sociais decorrentes do trabalho em grupo, visando desenvolver a capacidade dos alunos em seu *nível de desenvolvimento proximal*, onde os problemas propostos na disciplina foram elaborados visando a construção coletiva do conhecimento.

Em nosso trabalho, as idéias de Piaget e Vygotsky são tomadas como base epistemológica para as modelos educacionais que utilizaremos. Em particular, destacamos a idéia de que o aprendizado é baseado na interação do sujeito com os objetos, onde alunos adquirem novos conceitos a partir de seus conhecimentos anteriores, aliado a importância do trabalho em grupo e da interação entre o professor e o aluno no processo de aprendizagem.

2.3 Contribuições da Epistemologia na educação científica e tecnológica

Se a segunda metade do século XX foi marcada pelo surgimento de novas formas de pensar a cognição, também marcou uma mudança na forma de pensar a natureza e a criação do conhecimento científico, estimulada em parte pelo livro de Thomas Kuhn *A estrutura das revoluções científicas* (Kuhn, 1978), publicado originalmente em 1962.

A epistemologia é o estudo crítico dos princípios, hipóteses e resultados das ciências, e visa determinar os fundamentos lógicos, o valor e o alcance objetivo delas. Estudiosos deste domínio, como Kuhn (1978), Popper (1985), Lakatos (1979), Bachelard (1996), Fleck (1986), Feyerabend (1977), entre outros, começaram a questionar a visão *empírico-positivista* dominante, que acreditava que a produção do conhecimento científico começa com a observação neutra, dá-se por indução, é cumulativa e linear, e que o conhecimento daí resultante é definitivo. A incipiente epistemologia construtivista sustentava que o conhecimento científico é criado, construído, e não simplesmente descoberto a partir de dados empíricos. Para Novak (2002), “Como criação humana, o conhecimento também é frágil e variável ao longo do tempo, e as vezes está repleto de grandes erros derivados em parte da vaidade e do ego dos seres humanos”.

Kuhn (1978) afirma que a observação é precedida de teorias, portanto, não neutra. Enfatiza que não há justificativa lógica para o método indutivo, reconhecendo o caráter construtivo, inventivo e não definitivo do conhecimento. Segundo Osterman (1996), esta posição tem-se configurado como o que existe de consenso entre os filósofos contemporâneos da ciência. Contudo, o que se observa na verdade é um intenso e controvertido debate entre diferentes modelos de desenvolvimento científico, na qual cada autor, ao seu modo, representa uma oposição às idéias *empírico-positivistas*.

Kuhn (1978), por exemplo, propôs um modelo de desenvolvimento da ciência como uma sequência de períodos de *ciência normal*, na qual a comunidade científica adere a um *paradigma*, interrompido por *revoluções científicas*, caracterizadas por crises no paradigma dominante.

Os períodos de *ciência normal* são caracterizados pela adesão irrestrita ao paradigma dominante e pela tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos seus limites. Por *paradigma*, define-se o referencial que serve de consenso à comunidade científica. O cientista fica livre de analisar criticamente seus fundamentos teóricos, conceituais e metodológicos, já que estes são inquestionáveis, e concentra-se somente nos problemas de pesquisa. Os problemas são encarados como “quebra-cabeças”, sendo sua resolução desenvolvida dentro da estrutura fornecida pelo paradigma. Esses períodos são essenciais para o desenvolvimento

científico, levando à articulação do paradigma, através de teorias aceitas e testadas de forma extensiva (Osterman, 1996).

Nas *revoluções científicas*, os problemas passam a ser encarados como anomalias, gerando um estado de crise na área de pesquisa. Alguns cientistas começam a questionar a validade das teorias e métodos que dão corpo ao paradigma. Este estado de crise somente será solucionado com o aparecimento de um novo paradigma. O novo paradigma, em geral, apresenta uma alteração radical na visão de mundo que se tinha. Podem ser citadas como exemplos, a revolução na astronomia com o Sistema Heliocêntrico vindo a substituir o Geocêntrico, ou a Teoria da Relatividade suplantando a Mecânica Clássica (Osterman, 1996).

Durante o período de transição, os dois paradigmas competem pela preferência dos membros da comunidade científica. Como as mudanças de paradigma representam rupturas nas visões de mundo, Kuhn (1978) usa o termo *incomensurabilidade de paradigmas*, pois é impossível demonstrar logicamente, a partir de um algoritmo neutro, a superioridade de um paradigma sobre o outro.

Estas idéias, bem como as de outros epistemólogos sobre a construção do conhecimento científico, vieram, portanto, reforçar as idéias das correntes construtivistas de educação, estimulando educadores a aplicá-las como modelos alternativos também no ensino científico e tecnológico. Diversos trabalhos nesta linha podem ser citados. Por exemplo, Silveira (1996a) apresenta algumas sugestões para o ensino de física baseado no estudo de problemas práticos. Citando Popper (1985), o autor coloca que a existência de um problema é o ponto de partida para a aprendizagem, afirmando que o conhecimento humano cresce através de um processo de tentativas e de eliminação de erros. Em outro trabalho, Silveira (1996b) utiliza as idéias sobre a “competição entre programas de pesquisa concorrentes” de Lakatos (1979). Para aplicá-las ao ensino de física, o autor coloca a idéia de criticar as *concepções alternativas* dos alunos, concepções próprias que os alunos trazem consigo ao ingressarem na escola, e confrontá-las com o conhecimento científico. Esta estratégia enfatiza a competição entre as diferentes visões teóricas, propiciando um aprendizado efetivo.

Por sua vez, Zylbersztjn (1991) toma como referência Kuhn (1978) e propõe uma analogia entre as mudanças de concepção durante o aprendizado e as mudanças de paradigmas que ocorreram na história da ciência. Para tal, sugere que, nas atividades de ensino, seja feita inicialmente uma tomada de consciência pelos alunos de suas *concepções alternativas*. Em seguida, são introduzidos problemas que colocam em xeque estas concepções alternativas, ficando os alunos em situação de desconforto e insatisfação com suas concepções prévias. Aí surge a apresentação da nova teoria, sendo os conceitos teóricos consolidados a partir da resolução de problemas de aplicação.

Os debates sobre a construção do conhecimento científico ganharam impulso a partir dos anos 1960, expandindo também suas influências sobre a educação científica e tecnoló-

gica. Contudo, já no início do século XX, o filósofo, poeta, cientista e educador Gaston Bachelard (1884-1962) vinha discutindo, de forma pioneira, estas questões. Bachelard viveu durante um período de construções revolucionárias na ciência e de grandes mudanças na racionalidade humana. Seus ensaios enfatizam a descontinuidade do conhecimento científico, criticando a visão linear segundo a qual o conhecimento se constrói paulatinamente, com os conceitos sendo somados uns aos outros. Bachelard critica a visão de que existe uma continuidade entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, sendo este último visto como um refinamento do primeiro. Ele ressalta a importância do erro, na perspectiva de que precisamos errar em ciências, pois o conhecimento científico só se constrói a partir da retificação destes erros (Bachelard, 1996).

Segundo as concepções *empírico-positivistas*, o conhecimento advém da experiência onde existe uma realidade na qual a razão deve se apoiar. Para Bachelard (1996) apenas o conhecimento comum se fundamenta na realidade, não acontecendo o mesmo com o conhecimento científico, como no caso da Mecânica Quântica, que é altamente especulativa. O conhecimento comum, na verdade, acaba por se constituir em um *obstáculo epistemológico* ao conhecimento científico, uma vez que o espírito científico se apresenta com seus conhecimentos anteriores.

Lopes (1993, 1996) relacionou as contribuições de Bachelard com o ensino de ciências. Segundo ela, não se aprende por acúmulo de informações; as informações só se transformam em conhecimento quando modificam o espírito do aprendiz, na qual se modifica um conhecimento para produzir outro. Por este motivo, não podemos considerar o aprendiz como uma “tabula rasa”. Ele possui conhecimentos empíricos adquiridos a partir do senso comum e esses conhecimentos podem se transformar em obstáculos para o conhecimento científico. A atividade de ensino exige uma discussão sobre os problemas que suscitaram o surgimento de novas teorias. Se ensinarmos somente o resultado, estaremos omitindo a linha de raciocínio que levou a este resultado, de forma que o aluno o combinará com suas imagens mais familiares.

Outro ponto de destaque levantado por Bachelard (1996) é que as concepções da ciência moderna são também produtos surgidos historicamente, não podendo, portanto, serem entendidas sem se recorrer ao seu desenvolvimento histórico. Segundo ele, muitas vezes os erros dos alunos durante o aprendizado são iguais aos erros históricos. É, portanto, possível, a partir destes erros, entender o que pode obstruir o conhecimento científico. Assim, no ensino tecnológico, a discussão acerca dos fatos e problemas que levaram às tecnologias atuais é bastante importante, assim como recorrer ao desenvolvimento histórico das tecnologias.

No caso específico das redes de computadores, não se pode simplesmente ensinar as tecnologias dominantes sem mostrar porque se tornaram hoje as mais utilizadas. No capítulo 4, seção 4.1, apresentamos uma resenha histórica das redes de computadores, na qual fica

evidenciada a característica “não linear” do desenvolvimento tecnológico da área, o qual foi influenciado por diversos fatores, sendo que, nem sempre, a tecnologia mais eficiente prevaleceu.

Para Bachelard, aprende-se também por “rupturas”. Portanto, suas idéias sobre educação aproximam-se das sugestões há pouco citadas, sobre a aplicação das idéias de Kuhn (1978) no ensino, onde o novo conhecimento é confrontado com as concepções prévias dos alunos. O objetivo desta prática é “desconstruir” idéias pré-concebidas que possam obstruir o entendimento de um novo conhecimento.

A partir do que foi apresentado na seção anterior, podemos definir o aprendizado como um processo ativo, baseado na interação do sujeito com os objetos, no qual os alunos constroem novas idéias ou conceitos baseados nos conhecimentos prévios que possuem acerca dos fatos relacionados ao domínio em questão, e não pela simples recepção de conteúdos. Relacionando estas novas visões sobre a cognição humana com às idéias da epistemologia construtivista, apresentadas nesta seção, cujo objetivo central está na explicação da criação do conhecimento científico, podemos dizer que elas se reforçam mutuamente. Desta forma, reforçamos também nossa hipótese de que os aprendizes adquirem novos conhecimentos a partir do que já sabem, seja por experiências vividas, seja por aprendizagens anteriores. Acrescenta-se ainda que, algumas vezes, os novos conhecimentos podem contradizer os conhecimentos anteriores, sendo que o aprendizado das novas idéias vai implicar rupturas com as antigas. Partindo destas conclusões, nas próximas seções detalharemos as contribuições do modelo da *aprendizagem significativa* e o *currículo espiral*, em consonância com estas idéias, para fundamentar nossas propostas educacionais para o ensino-aprendizagem de redes de computadores.

2.4 O modelo da *aprendizagem significativa* como apoio na educação científica e tecnológica

2.4.1 Fundamentos e relação com outros modelos de aprendizagem

Influenciado pelos trabalhos de Piaget, David Ausubel publicou, em 1963, o modelo da *aprendizagem significativa* (Ausubel et al., 1980; Moreira, 1983, 1998; García et al., 2000; Palmero, 2004), o qual pode ser considerado uma teoria psicológica da aprendizagem em sala de aula.

Ausubel construiu um arcabouço teórico que pretende explicar os mecanismos que se utilizam para a aquisição e retenção dos grandes corpos de conhecimento que se manejam na escola. Põe ênfase sobre o que ocorre em aula quando os estudantes aprendem, na natureza

desta aprendizagem, nas condições necessárias para que esta se produza, em seus resultados e, conseqüentemente, na sua avaliação (Palmero, 2004).

Segundo Ausubel, a *aprendizagem significativa* é o processo no qual um novo conhecimento ou informação se relaciona, de forma não arbitrária e não literal, com conceitos ou proposições relevantes presentes na *estrutura cognitiva*³ do aprendiz. Esta interação não se produz na estrutura cognitiva considerada como um todo, mas sim, com aspectos relevantes presentes na mesma, os quais recebem o nome de *subsunções*⁴, ou *idéias âncoras*. Estas idéias âncoras devem ser mais gerais e abrangentes que a nova informação, e sua presença na mente do aluno é o que dota de significado o novo conteúdo a ser aprendido. Todavia, não se trata de uma simples união. Os novos conteúdos adquirem significado para o sujeito através de uma transformação das idéias âncoras existentes. Como resultado deste processo, o conhecimento prévio dos alunos vai sendo enriquecido e modificado, dando lugar a novas idéias âncoras mais potentes e explicativas, que servirão de base para futuras aprendizagens (Palmero, 2004).

Para que se produza uma aprendizagem significativa são colocadas três condições, segundo Ausubel et al. (1980):

- Os alunos devem possuir pré-disposição para aprenderem significativamente. Isto é fundamental, pois a aprendizagem significativa vai requerer um esforço deliberado do aprendiz para ligar as novas informações com conceitos e proposições relevantes, pré-existent em sua estrutura cognitiva.
- O novo conhecimento a ser aprendido deve ser conceitualmente claro e apresentado com uma linguagem e exemplos compatíveis com a estrutura cognitiva dos alunos.
- Os alunos devem possuir conhecimentos prévios relevantes, ou idéias âncoras, que sirvam de base para o entendimento do novo material. Isto é particularmente importante se se deseja apresentar conhecimentos detalhados em um domínio específico.

Em contraposição à *aprendizagem significativa* estaria a *aprendizagem memorística*, na qual as novas informações são aprendidas praticamente sem interagir com conceitos relevantes pré-existent na estrutura cognitiva do aprendiz.

Segundo Novak (2002), a aprendizagem pode se dar como um contínuo, desde unicamente memorística até altamente significativa, dependendo da motivação e dos conhecimentos prévios dos alunos, como mostra a figura 2.1 (Novak, 2002, p. 21).

³O conceito de *estrutura cognitiva* da *aprendizagem significativa* tem que ver com a forma como os conhecimentos são organizados na memória dos aprendizes, formando um conjunto complexo de sistemas de

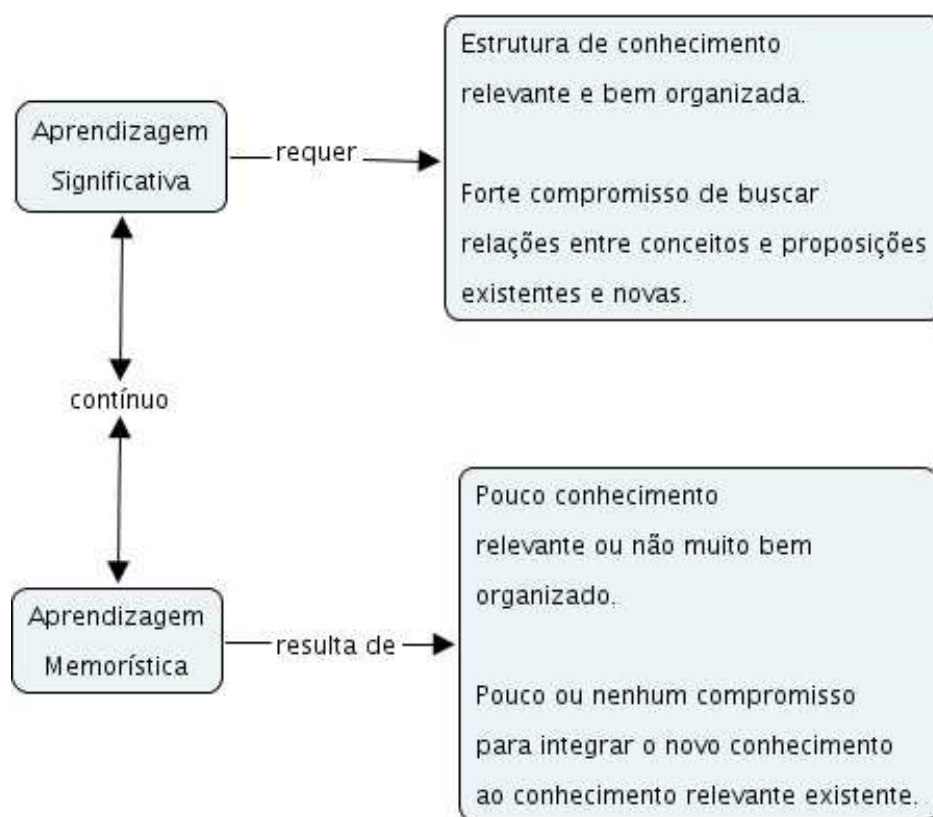


Figura 2.1: Aprendizagem Significativa x Aprendizagem Memorística

Desde seu surgimento, o conceito de *aprendizagem significativa* vem sendo utilizado com bastante êxito na montagem de currículos e por docentes em suas atividades de sala de aula, cabendo chamar a atenção à sua durabilidade, mesmo considerando o trabalho com disciplinas que evoluem e se modificam com grande velocidade. Ao longo deste tempo, diversos autores trouxeram contribuições a este modelo, acrescentando outros matizes e formas de utilizá-lo. Palmero (2004) apresenta um resumo destas contribuições, algumas das quais serão apresentadas e comentadas nos parágrafos a seguir.

A aprendizagem significativa é também a principal construção utilizada por Novak em suas contribuições na área da educação. Em seus primeiros ensaios, Ausubel já realçava o importante papel que tem a pré-disposição em aprender, por parte do aluno, no processo de construção de significados. A este ponto, Novak acrescentou um caráter humanista, ao considerar a influência emocional no processo de aprendizagem. Segundo ele (apud Palmero (2004)), “qualquer evento educativo é uma ação para intercambiar significados e sentimentos entre o aprendiz e o professor”. Este intercâmbio de significados se constitui, portanto, em

memória inter-relacionados

⁴A palavra *subsunção* não existe em português, refere-se a palavra inglesa *subsumer*, traduzida desta forma em Moreira (1983). Neste trabalho utilizaremos majoritariamente a expressão *idéia âncora* para nos referirmos a esse conceito.

um eixo primordial para se chegar à aprendizagem significativa.

Além do intercâmbio de significados, a aprendizagem significativa envolve também uma delimitação de responsabilidades. Partindo dos materiais educativos que constituem o currículo, o professor e o aprendiz, deliberadamente, tentam chegar a um acordo sobre os significados atribuídos a esses materiais. Nesse processo, a atividade de ensino só termina quando o significado que o aluno capta dos materiais educativos é aquele que o professor pretende que eles tenham para o aluno.

Outra importante contribuição de Novak à educação são os *mapas conceituais* (Novak, 2002, 2003), desenvolvidos no curso de suas pesquisas sobre a aprendizagem significativa, os quais são usados para representar de forma gráfica conceitos e suas relações. No capítulo 3 deste trabalho, os mapas conceituais serão discutidos, mostrando as várias possibilidades de sua utilização nas atividades educacionais.

No Brasil, com um extenso trabalho sobre a aprendizagem significativa, destaca-se a contribuição de Moreira (1983, 1998, 2000), que, desde fins dos anos 1970, vem utilizando este modelo no ensino de física, tanto no ensino médio quanto no universitário básico.

Moreira (1998), considera este modelo um conceito subjacente a distintas tendências construtivistas, tanto psicológicas como de aprendizagem. Segundo ele, é possível, por exemplo, relacionar a *aprendizagem significativa* com a *assimilação*, a *acomodação* e a *equilibração cognitiva* de Piaget, ou com o papel da *mediação social* de Vygotsky na construção do conhecimento.

Moreira (2000) também trata de modo explícito do caráter crítico da aprendizagem significativa. Além da motivação, interesse e pré-disposição do aluno para aprender, é também crucial que quem aprende seja crítico com seu processo cognitivo, disposto a analisar de diferentes perspectivas os materiais que lhe são apresentados e trabalhar ativamente para atribuir significados aos mesmos. A questão do caráter crítico da educação vem sendo também discutida por diversos educadores e movimentos, como Freire (1981, 1986), cujas idéias serão discutidas na seção 2.6.

Em resumo, a aprendizagem significativa pode ser definida como o processo gerado na mente humana quando submetida a novas informações, de maneira não arbitrária e substantiva, e que requer como condições pré-disposição para aprender e material potencialmente significativo, que por sua vez, implicam em significação lógica do material e presença de idéias âncoras na estrutura cognitiva de quem aprende. A aprendizagem significativa é uma idéia subjacente a diferentes teorias psicológicas e pedagógicas, podendo ser considerada mais integradora e eficaz para aplicação no contexto de sala de aula, oferecendo meios tangíveis para facilitar o ensino-aprendizagem (Palmero, 2004).

Em áreas científicas e tecnológicas, como no caso da área de redes de computadores, que

envolvem um grande volume de conhecimentos e tecnologias que devem ser trabalhadas no ambiente escolar, as idéias apresentadas por este modelo nos parecem bastante apropriadas. Ademais, considerando o caráter crítico da aprendizagem significativa, conforme sugerido por Moreira (2000) e Palmero (2004), esta pode ser também uma forma de encarar a velocidade vertiginosa com que se desenrola a Sociedade da Informação, possibilitando elementos e referências claras que permitam o questionamento e a tomada de decisão necessários para fazer frente à mesma de uma maneira crítica.

2.4.2 O papel do professor na aprendizagem significativa e sua aplicabilidade em sala de aula

Para Ausubel et al. (1980), novas idéias, conceitos e proposições podem ser aprendidos significativamente e retidos, na medida em que outras idéias, conceitos ou proposições, relevantes e inclusivos em relação às novas informações, estejam adequadamente claros e disponíveis na *estrutura cognitiva* do indivíduo.

Segundo as idéias do modelo da aprendizagem significativa, para desenvolver as atividades educacionais, primeiro é preciso identificar os conceitos organizadores básicos de uma dada disciplina, que Ausubel chama de “problema organizacional substantivo”. Em segundo lugar, deve-se atentar para a apresentação e arranjo seqüencial das unidades componentes, chamado de “problema organizacional programático”.

Para facilitar este processo, Moreira (1983, p. 57) enumerou quatro tarefas fundamentais, reservadas ao professor:

1. Determinar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino. Em outras palavras, é preciso identificar os conceitos e princípios mais gerais e inclusivos da matéria em questão e organizá-los hierarquicamente, de modo que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos. Deve-se fazer uma espécie de “mapeamento” da estrutura conceitual da matéria e organizá-la seqüencialmente de acordo com esta estrutura.
2. Identificar as idéias âncoras, relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o aluno deveria ter em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente este conteúdo.
3. Diagnosticar o que o aluno já sabe, no sentido de determinar, dentre as idéias âncoras relevantes, quais já estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.

4. Ensinar, usando metodologias e materiais didáticos que facilitem a passagem da estrutura conceitual da matéria de ensino para a estrutura conceitual do aluno de maneira significativa.

Os dois primeiros pontos vêm ao encontro do requisito da aprendizagem significativa de que o novo conhecimento a ser aprendido deve ser conceitualmente claro ao aprendiz. Isto implica que o currículo deve ser montado de forma tal que os conhecimentos mais gerais e abrangentes sejam trabalhados no início, avançando em ordem crescente de diferenciação e complexidade, até se chegar aos conteúdos mais específicos.

Montada a estrutura conceitual da matéria, fica facilitado o desenvolvimento da aprendizagem indo do geral ao específico. Este processo é chamado de *diferenciação progressiva*. Este é um princípio envolvido na apresentação e organização seqüencial das unidades componentes da matéria. Ausubel (apud Moreira (1983)) baseou-se em duas hipóteses ao propor isto: 1) É mais fácil para os seres humanos captar aspectos diferenciados de um todo mais abrangente previamente aprendido do que chegar ao todo a partir de suas partes; 2) A organização do conteúdo de certa disciplina na mente de um indivíduo é uma estrutura hierárquica na qual as idéias mais abrangentes estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam conceitos e fatos menos abrangentes e diferenciados.

Por outro lado, o desenvolvimento do conteúdo não deve só proporcionar a *diferenciação progressiva*, mas também explorar, explicitamente, as relações entre conceitos e proposições, apontando similaridades e diferenças entre os mesmos. Assim, à medida que a aprendizagem se desenvolve em direção aos conceitos mais específicos, não se deve perder a visão do que já foi visto, nem de como cada conceito mais específico se relaciona com o todo. Isto deve ser feito para se atingir o que é chamado de *recomposição integrativa*, que de certa forma é retratada no caminho inverso na hierarquia de conceitos.

A figura 2.2 (Moreira, 1983, p. 65) ilustra esta questão, mostrando a *diferenciação progressiva* como sendo o desenvolvimento do ensino-aprendizagem descendo na estrutura conceitual da matéria, e a *recomposição integrativa* o caminho inverso, representado no desenho pela linha pontilhada.

O desenvolvimento do ensino-aprendizagem indo do geral ao específico pode também ser relacionado às idéias da *teoria da elaboração*, de Reigeluth e Stein (1983) (apud Chou (1999); Pérez et al. (2004)). A idéia é iniciar a partir da visão ampla de um problema ou tópico, olhando primeiramente sua relação com o todo, seus componentes principais e a relação entre cada um destes componentes. A partir desta visão geral, uma parte (ou um detalhe) pode ser examinado, sem se perder em nenhum momento a visão do conjunto. Em qualquer tempo, é possível voltar ao geral para rever outras partes do mesmo problema ou para examinar a relação de determinada parte com o todo. Reigeluth e Stein (1983) compararam esta abordagem a um fotógrafo estudando uma cena com uma “lente zoom”.

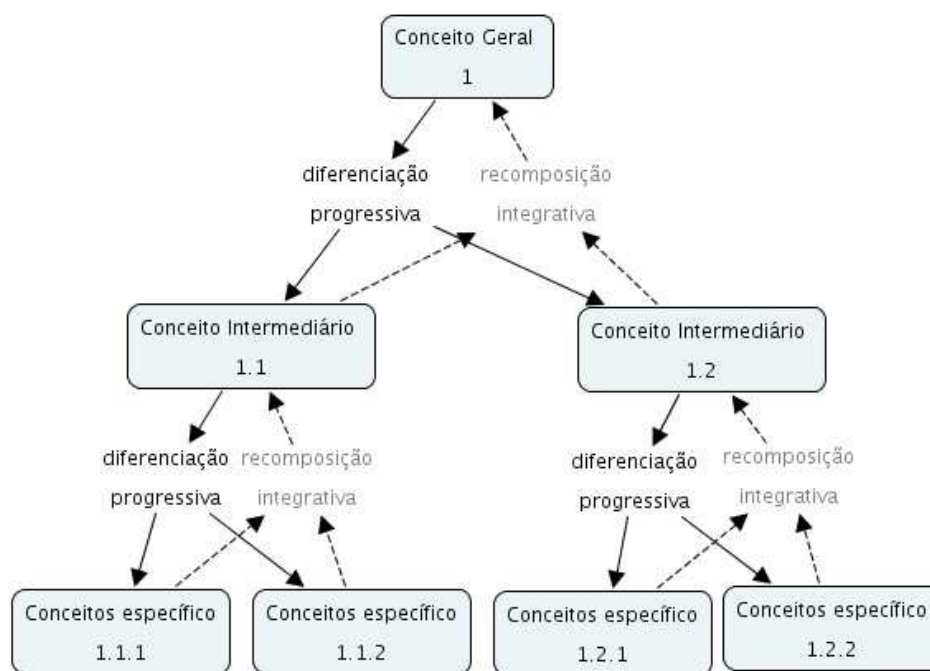


Figura 2.2: Diferenciação Progressiva x Recomposição Integrativa

Como veremos mais tarde, no capítulo 3, a montagem da estrutura conceitual da matéria a ser ensinada pode ser facilitada com a utilização da ferramenta gráfica *mapas conceituais*. Segundo Novak (2003), os mapas conceituais podem ajudar na organização do conhecimento a ser ensinado, identificando os conceitos mais gerais e inclusivos a serem trabalhados no início e ordenando progressivamente os demais conceitos em direção aos mais específicos. Esta ferramenta pode também ajudar em outras fases do processo de ensino-aprendizagem, seja para determinar o que os alunos já sabem, seja durante o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, tornando explícita a relação entre os conceitos que estão sendo estudados, seja ainda no processo de avaliação, para verificar o que foi aprendido.

Outro requisito da aprendizagem significativa é que os alunos devem possuir conhecimentos prévios relevantes, ou idéias âncoras, que sirvam de base para o entendimento do novo material. O desenvolvimento de um tema, indo do geral ao específico, favorece a modificação e o enriquecimento das idéias âncoras existentes, dando lugar a novas, mais potentes e explicativas que servirão de base para as aprendizagens subseqüentes.

Todavia, uma pergunta que comumente se faz é: “O que fazer quando o aluno não possui um conhecimento prévio relevante?”. Neste caso, propõe-se o uso de *organizadores prévios* que sirvam de “ancoradouro” para o novo conhecimento. Estes organizadores prévios são materiais introdutórios, apresentados antes do próprio material a ser aprendido, porém em um nível mais alto de abstração, generalidade e abrangência que o material subseqüente. A principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aluno já sabe e o que

ele precisa saber para que possa aprender significativamente o novo conhecimento com que se depara (Moreira, 1983).

O material utilizado como organizador prévio não corresponde necessariamente a uma introdução pura e simples do novo material. Pode até consistir em materiais relacionados com outros assuntos, mas que tenham correlação conceitual com os princípios de base do material que será visto depois.

Mais adiante neste documento, no capítulo 5, quando apresentamos um exemplo de aplicação no ensino-aprendizagem de redes de computadores, mostramos um exemplo de organizador prévio que poderia ser utilizado no início do estudo sobre redes de computadores. Neste exemplo, os alunos realizam um levantamento do funcionamento do sistema postal, conhecido dos alunos, com vistas a fazer uma analogia com a principal técnica subjacente às redes de computadores que é a comutação de pacotes.

Em anos recentes tem-se observado um interesse crescente pela aplicação da aprendizagem significativa nas atividades acadêmicas, influenciado em parte pela grande divulgação que vêm tendo os mapas conceituais, a principal ferramenta deste modelo. Os mapas conceituais, hoje enriquecidos conceitualmente e suportados por modernas ferramentas computacionais, têm sido utilizados em diferentes situações educacionais, como veremos no capítulo 3, e mesmo orientando projetos mais amplos voltados tanto à educação básica quanto à superior, como apontam, por exemplo, os trabalhos de García et al. (2000), Novak (2002) e Novak e Cañas (2004).

No nosso caso, pretendemos utilizar as contribuições deste modelo no aprimoramento do ensino-aprendizagem na área de redes de computadores, o qual é formado por um grande e complexo conjunto de conceitos, incluindo muitos protocolos, modelos de referência e uma vasta coleção de tecnologias. A idéia é aprimorar, em primeiro lugar, o processo de montagem do currículo dos cursos, tendo como ponto de partida a determinação da estrutura conceitual da área, construindo uma estrutura hierárquica de conceitos. Em segundo lugar, está o aprimoramento do desenvolvimento do ensino em sala de aula, utilizando organizadores prévios, materiais didáticos apropriados e avançando no estudo segundo uma organização seqüencial da matéria que vai do geral ao específico. Por último, pretendemos incluir sugestões inspiradas na aprendizagem significativa na avaliação da aprendizagem.

2.5 A estrutura e o currículo espiral na educação científica e tecnológica

Seguindo na mesma linha cognitiva que fundamenta o modelo da *aprendizagem significativa*, o educador Jerome Bruner, uma das principais referências das correntes construtivistas

de educação, considera o aprendizado como um processo ativo, baseado na interação do sujeito com os objetos, no qual os alunos constroem novas idéias ou conceitos baseados nos conhecimentos prévios que possuem acerca dos fatos relacionados àquele domínio.

Bruner (1973, p. 7) advoga que os professores deveriam organizar suas aulas envolvendo um número limitado de idéias sobre o tópico em estudo, chamadas *estruturas fundamentais*⁵.

Dado que os alunos sofrem uma exposição limitada às matérias que devem aprender, esta exposição somente será valiosa para a vida profissional deles à medida que eles compreendam a estrutura fundamental da matéria que escolhemos ensinar. Captar a estrutura da matéria em estudo consiste em compreender seus conceitos mais fundamentais, de modo que se possa, posteriormente, relacionar outros conhecimentos com estes conceitos.

Bruner (1973) explicou, através de alguns exemplos, o que se entende por *estrutura fundamental*. Veja o caso de um exemplo da matemática:

A álgebra é um modo de dispor, em equações, elementos conhecidos e desconhecidos, de modo que os desconhecidos se tornem conhecidos. As três propriedades implicadas no trabalho com estas equações são a comutação, a distribuição e a associação. Uma vez que um aluno capte as idéias contidas nessas três propriedades, está em condições de reconhecer quando “novas” equações a resolver não são de modo algum novas, mas apenas variações de outras. Conhecer os nomes formais dessas operações é menos importante para o aluno, no caso da transferência da aprendizagem, do que ser capaz de aplicá-las. (Bruner, 1973, p. 7)

No que se refere à *transferência da aprendizagem*, que consiste na aplicação do que foi aprendido em questões da vida prática ou profissional, segundo Bruner (1973, p. 15), há dois modos pelos quais a aprendizagem possa nos ser útil no futuro:

- Pela *transferência específica de treinamento*, que é a possibilidade de sua aplicação específica a tarefas semelhantes às que originalmente aprendemos a executar. Por exemplo, se um estudante configurou um computador para acesso à Internet em uma rede local, poderá, posteriormente, aplicar seus conhecimentos em outras situações semelhantes, como por exemplo, numa conexão residencial usando modem.
- Pela *transferência de princípios*, que consiste, essencialmente, em aprender inicialmente uma idéia geral, que possa depois servir de base para resolver problemas subsequentes em casos especiais da idéia aprendida.

⁵Para Bruner (1973), as *estruturas fundamentais* são estruturas externas que formam o arcabouço conceitual do domínio de conhecimento a ser aprendido.

Neste último caso, a aprendizagem da estrutura fundamental tem grande importância, pois é aprender como as coisas se relacionam. Permite tornar a matéria em estudo mais compreensível a partir do entendimento de seus fundamentos. Favorece a transferência da aprendizagem, no sentido de que não se aprende apenas uma coisa específica, mas também um modelo para compreender outras coisas semelhantes. Também facilita o reexame constante do que estiver sendo aprendido, permitindo diminuir a distância entre o conhecimento “avançado” e o conhecimento “elementar” (Bruner, 1973, p. 23).

No que se refere ao currículo de uma dada disciplina ou de um curso específico, segundo Bruner (1973, p. 27), o mesmo deve ser determinado pela compreensão mais fundamental que se possa atingir. Ensinar tópicos ou habilidades específicas, sem tornar claro o seu contexto na estrutura fundamental, torna o ensino excessivamente difícil para o aluno a generalização de novos conhecimentos, a partir do que ele aprendeu. Uma aprendizagem que não consegue captar os princípios fundamentais não consegue tornar o conhecimento adquirido utilizável na mente de quem aprendeu. Ademais, um conhecimento sem uma estrutura a que se ligue está fadado ao esquecimento.

Bruner (1973, p. 12) sugere ainda que os conceitos que formam a estrutura fundamental da matéria em estudo, vistos no início da aprendizagem, sejam revisitados e retrabalhados a cada nova situação de aprendizagem, até que o aluno tenha captado inteiramente a sua completa formulação sistemática. Este educador chama esta forma de desenvolvimento do ensino de *currículo espiral*.

A idéia do *currículo espiral* é diferente da idéia de desenvolver o ensino-aprendizagem indo do geral ao específico, como sugere a aprendizagem significativa. A idéia é trabalhar os conceitos fundamentais repetidas vezes, e a cada vez com maior grau de detalhe e profundidade.

No caso das redes de computadores, observa-se que muitos conceitos e princípios a partir dos quais foram construídas as primeiras redes permanecem inalterados. Vejamos, por exemplo: o conceito de *comutação de pacotes*, subjacente às redes de computadores, em oposição a *comutação de circuitos*; o conceito de *protocolo de comunicação*; a noção de *serviço orientado a conexão* e *serviço não orientado a conexão* ou *serviço tipo melhor esforço* etc. Estes conceitos integram a estrutura fundamental da matéria redes de computadores, e sua compreensão vai potencializar o entendimento pelos alunos de qualquer nova tecnologia no futuro.

Desta forma, consideramos importante identificar o conjunto de *conceitos fundamentais* da área de redes de computadores, os quais poderíamos também chamar de *conceitos duráveis*. Depois, durante o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, é possível trabalhar cada conceito fundamental repetidas vezes, acrescentando detalhes em função de cada tecnologia específica, e relacionando-o com outros casos onde o mesmo também é utilizado. No ca-

pítulo 4, seção 4.1, discutimos especificamente esta questão dos *conceitos fundamentais* de redes de computadores, analisando-os ao longo do desenvolvimento tecnológico das redes.

No nosso entender, a organização hierárquica dos conceitos que formam a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, como proposta pelo modelo da aprendizagem significativa, pode ser complementada com a idéia do *currículo espiral*, na qual os *conceitos fundamentais* da área de redes de computadores são retrabalhados, repetidas vezes, ao longo do desenvolvimento do ensino-aprendizagem.

2.6 A abordagem temática na educação científica e tecnológica

Outra contribuição da área da educação para o nosso trabalho diz respeito às idéias apresentadas por Freire (1981, 1986), na chamada *abordagem temática*.

O trabalho desse educador está intimamente ligado à questão do analfabetismo e da alfabetização de adultos, pensada como um instrumento para a transformação da realidade numa perspectiva de educação libertadora. O título de uma de suas principais obras, *Educação como prática da liberdade* (Freire, 1986), exprime bem sua concepção.

Sem mencionar explicitamente a questão da cognição ou modelos educacionais, Freire (1981, p 66) critica o que ele chama de *educação bancária* e a coloca como inibidora da capacidade crítica e criativa dos educandos. O conceito de educação bancária, associado ao ato de depositar, expressa, anologicamente, a noção de “tabula rasa” e da aprendizagem linear e cumulativa do empirismo, segundo a qual o educador seria o depositante de valores e conhecimentos na mente vazia dos educandos.

Em oposição à educação bancária, estaria, segundo Freire (1981, p. 77), a *educação problematizadora*, “que implica na ação e na reflexão dos homens sobre o mundo para transformá-lo”. Se a educação bancária está baseada na narração, na qual o educador narra ao educando o conteúdo programático da educação, que ele mesmo elabora ou elaboraram para ele, na educação problematizadora o elemento chave é o diálogo. É através do diálogo, que implica um pensar crítico, que o conteúdo programático da educação pode ser determinado. Este conteúdo se organiza e se constitui na visão de mundo dos educandos, ou no seu *universo temático*, do qual faz parte o conjunto de seus *temas geradores*, ou *temas significativos*⁶.

⁶Com a mesma conotação de *temas geradores*, usa-se a expressão *temas significativos*, a qual empregaremos neste trabalho

Os *temas significativos* fazem parte, necessariamente, do cotidiano dos aprendizes e, além do aspecto motivador, permitem dar ao conhecimento um papel conscientizador, proporcionando aos alunos uma melhor compreensão e atuação na sociedade. Em torno deles, segundo Freire (1981, p. 102), é que deveriam girar as atividades de ensino.

Freire trabalhou pessoalmente na colocação em prática de suas idéias, no início de sua carreira, em programas de alfabetização no nordeste brasileiro; como consultor da UNESCO, na formulação de um Plano de Educação em Massa no Chile, durante seu exílio político; na educação de adultos na recém libertada Guiné Bissau, no final da década de 1970; ou ainda, posteriormente, como Secretário de Educação da cidade de São Paulo, em 1988. Contudo, conforme podemos ver em *Paulo Freire: uma bibliografia* (Gadotti, 1996), são muitos os trabalhos que direta ou indiretamente estão relacionados a sua obra.

Considerados o radicalismo e o forte cunho social envolvido em suas concepções, mesmo no ensino regular de ciências, a *problematização* e os *temas significativos* têm sido aplicados. Por exemplo, no Instituto de Física da USP, surgiu o GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física), que adotou uma metodologia inspirada no uso de temas significativos para o ensino de física. A proposta foi publicada em três volumes, voltados ao professor de física do Ensino Médio (GREF, 1990, 1991, 1995). Conforme a apresentação da proposta do GREF, na introdução de cada um dos volumes citados, o objetivo principal é enfatizar a “universalidade teórica” e a “relevância prática” da física, procurando desenvolver seu ensino em torno de temas que façam parte do universo cultural dos alunos. Orienta-se o ensino procurando sempre partir de elementos vivenciais e mesmo cotidianos dos alunos, formulando os princípios gerais da física tendo em vista sua utilidade e a disseminação de seu uso. Na época inicial das pesquisas neste instituto, um trabalho nesta linha fez parte da dissertação de mestrado de Delizoicov (autor com outros trabalhos referenciados neste documento). O próprio Paulo Freire participou da banca examinadora. Na ocasião, ele “expressou sua satisfação, não por ter sido ‘bem interpretado’, mas por ver algo realmente inovador” (Gadotti, 1996, p. 640). Outros trabalhos utilizando a abordagem temática no ensino de ciências e física podemos ver em Delizoicov e Angotti (1994), Delizoicov (2001) e Delizoicov et al. (2003).

No que se refere ao ensino de ciências, de acordo com Snyders (1988) (apud Delizoicov et al. (2003)) o trabalho com temas significativos pode proporcionar uma renovação dos conteúdos programáticos escolares, na medida em que haja uma articulação entre os temas escolhidos e os conteúdos programáticos selecionados do conhecimento científico. Segundo Snyders, dois critérios são enfatizados na escolha dos temas significativos a serem explorados no processo educacional: um diz respeito ao “fascínio” exercido pelos aparatos tecnológicos, em particular sobre os mais jovens; o outro concerne à necessidade de discutir o problema do balanço “benefício-malefício da produção tecnológica”. Sobre estas proposições, Delizoicov et al. (2003) apontam para uma aproximação com o que vem sendo defendido pelo movi-

mento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (Pacey, 1990; Winner, 1997; Bazzo, 1998), para quem a educação tecnológica deve considerar a tecnologia em relação com suas dimensões sociais e políticas. Discutiremos o assunto CTS na próxima seção.

No caso do ensino de redes de computadores, a seleção dos conhecimentos a serem abordados no processo educativo tem sido um dos problemas enfrentados pelos professores, associado a dificuldade de relacionar os tópicos em estudo com tarefas práticas. Além da forte dinâmica dos conhecimentos associados a esta área, há a uma infinidade de padrões, modelos de referência e tecnologias, cada uma com muitas particularidades e extensões, tornando complexa, para o professor, a tarefa de decidir o que trabalhar, em que sequência e com que profundidade. Desta forma, a abordagem temática pode ser uma alternativa interessante. Para exemplificar, podemos observar que a realidade atual das redes de computadores está profundamente marcada pela ampla penetração da Internet e de suas aplicações em todos os domínios da sociedade. Como se pode observar em várias referências, o acesso à rede mundial tem se tornado inclusive um elemento fundamental para a inclusão social (Castells, 1999; BRASIL/MCT, 2000; Bazzo et al., 2000). Neste sentido, a Internet e suas aplicações se encaixam perfeitamente nos critérios sugeridos por Snyders (1988) para definição de temas significativos, que, por sua vez, poderiam orientar a seleção dos conhecimentos a serem trabalhados no ensino-aprendizagem de redes de computadores.

Snyders (1988) destaca também que a abordagem temática pode proporcionar um ganho cultural aos alunos, na medida que a escola promova a articulação entre temas, os conhecimentos prévios dos alunos e o conhecimento universal sistematizado, tendo em vista a superação do senso-comum. Para esta afirmação, valeu-se das idéias de Bachelard (1996), discutidas na seção 2.3, sobre a necessidade de “ruptura” com as idéias do senso-comum, as quais podem se transformar em um obstáculo ao aprendizado do conhecimento científico e tecnológico.

Segundo Delizoicov et al. (2003), a exploração didática de temas significativos, representa, por sua vez, uma ruptura na lógica segundo a qual os programas têm sido elaborados, fortemente baseados nos conteúdos científicos ou tecnológicos consagrados da área. Desta forma, a abordagem temática pode ser um dos critérios para ajudar na seleção dos conhecimentos que precisam ser abordados no processo educativo, contribuindo ainda para tornar explícita a sua importância e o seu significado.

Para se estruturar um currículo segundo uma abordagem temática deve haver uma articulação entre temas e conceitos, sendo os temas, e não os conceitos, o ponto de partida para a elaboração do programa, que deve garantir a inclusão da conceituação na qual se quer chegar para a compreensão científica e tecnológica dos temas pelos alunos (Delizoicov et al., 2003). Esta articulação entre temas e conceitos é denominada por Freire (1981) de *redução temática*, sendo fruto do trabalho efetuado por uma equipe de especialistas. Utilizando as sugestões de Delizoicov et al. (2003), para a educação científica e tecnológica, os professores,

tendo como referência o conhecimento de sua área, devem articular os conceitos, modelos e teorias que proporcionam uma compreensão geral do tema escolhido, ficando desta forma estabelecida uma seleção dos conhecimentos que vão compor o conjunto de conteúdos programáticos escolares.

Também no desenvolvimento de tópicos específicos, a idéia de tema significativo pode ser utilizada. No caso do ensino científico ou tecnológico, por exemplo, isto pode ser feito relacionando-se tecnologias ou aparatos tecnológicos de uso corriqueiro pelos alunos com os conceitos, teorias ou técnicas específicas que necessitem ser estudadas. Alguns autores utilizam a expressão *equipamento gerador* com uma conotação que se aproxima da idéia de *tema gerador* de Freire (1981). Por exemplo, no ensino de física, uma máquina fotográfica poderia servir como *equipamento gerador* no estudo de fenômenos ligados à luz ou à óptica. Angotti et al. (2001) utilizaram a categoria equipamento gerador e “investigação-ação” no ensino teórico-prático de física no Ensino Médio, buscando elementos para a construção de uma proposta para o ensino de física e a formação de professores. Os trabalhos do GREF, citados a pouco, também vão nesta linha, como se pode ver nos materiais chamados “Leituras de Física: para ler, fazer e pensar”, disponíveis na *Web*⁷. Estes são materiais bastante profícuos, cobrindo diversas áreas da física, e voltados especificamente para alunos do Ensino Médio.

Como conclusão, acreditamos que a abordagem temática pode ser utilizada como guia no processo de seleção dos conhecimentos que comporão o currículo de cursos na área de redes de computadores. Além disto, trabalhando a partir de temas, aplicações e tecnologias em uso, presentes no cotidiano dos alunos e da sociedade contemporânea, fica muito mais fácil aos professores relacionar os tópicos em estudo com a prática, aumentando a motivação para o aprendizado. No capítulo 4, seção 4.3, apresentamos uma proposta para a seleção dos conhecimentos que comporão o currículo de cursos na área de redes de computadores, a partir da idéia de abordagem temática. Como último ponto, relembramos que esta abordagem pode dar a abertura suficiente para que os professores possam fomentar a discussão de temas mais amplos, como os relacionados ao balanço entre tecnologia e sociedade. Como comentado no capítulo 1, estas discussões são importantes, em particular se olharmos para os objetivos amplos de formação necessários para inclusão na Sociedade da Informação.

⁷O endereço do GREF na Internet é <http://axpfep1.if.usp.br/gref>.

2.7 *Temas significativos* e a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

Uma crítica similar à que fizemos à forma como o ensino tecnológico vem sendo majoritariamente conduzido, na seção 2.1 deste capítulo, podemos fazer acerca da visão clássica da ciência e da tecnologia disseminada na sociedade. Esta visão é largamente influenciada pela corrente de pensamento *empírico-positivista*, criticada pelos filósofos da ciência contemporâneos, como vimos na seção 2.3.

Em particular no meio tecnológico, a visão inabalável da ciência, tida como o único tipo de conhecimento válido, sempre vinculada à observação e à experimentação, tem levado ao pensamento dominante segundo o qual a ciência, e por extensão a tecnologia, são vistas como neutras e como os principais motores do progresso humano. A essa visão, alia-se a crença de que o desenvolvimento tecnológico é inevitável e de que arrasta atrás de si a sociedade humana. Pacey (1990, p. 49) resume esta crença na expressão *determinismo tecnológico*. Entretanto, com a grande penetração da ciência e da tecnologia nas várias dimensões da vida social, baseando-nos nos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)⁸, como Bazzo (1998), Pacey (1990) e Winner (1997), torna-se imperativo que as propostas curriculares dos cursos tecnológicos não se limitem apenas ao estudo exclusivo das questões técnicas, ficando alheio aos demais fatores que estão envolvidos na solução de qualquer problema tecnológico. Em primeiro lugar, é preciso tratar os problemas tecnológicos tomando em consideração os fatores sociais envolvidos, buscando uma visão mais ampla e multidisciplinar. Como vimos na seção anterior, estas idéias são próximas ao que propõe Snyders (1988) para ensino de ciências e tecnologia, no nosso caso ciência aplicada, em que se defende a exploração didática de *temas significativos* que envolvam contradições sociais.

Toda a gama de possibilidades de produtos e serviços gerados pelo desenvolvimento tecnológico, associados às novas formas de organização da sociedade e do mundo do trabalho, trazem atrás de si impactos importantes na sociedade. Do ponto de vista dos estudos de CTS, as abordagens centradas somente nos impactos da tecnologia seriam restritivas, uma vez que não questionam as formas de produção e controle social do conhecimento científico e tecnológico. É preciso que se compreenda a ciência e a tecnologia em relação às suas dimensões sociais e políticas, a sua não neutralidade e os financiamentos para pesquisa (Bazzo, 1998).

Contribuem também para estes questionamentos o desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação, que, por um lado, estão transformando a sociedade, aproximando pessoas e provendo acesso a informações e serviços, mas ao mesmo tempo ajudam a estabelecer abismos profundos entre grupos sociais, regiões e países (Bazzo et al., 2000).

⁸Ciência, Tecnologia e Sociedade é um campo de estudo interdisciplinar, cuja preocupação maior é estudar as inter-relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Como técnicos implicados na geração, absorção, transferência e disseminação do uso das novas tecnologias na sociedade, os pesquisadores e professores da área tecnológica devem assumir uma postura de co-responsabilidade em relação aos possíveis impactos, positivos ou negativos, que estas tecnologias ocasionaram no passado e podem ocasionar no presente e no futuro. Como afirma Winner (1997, p. 21), não é possível a sociedade continuar desenvolvendo técnicas estando alheia às implicações sociais das mesmas, como se estivesse sob os efeitos de um “sonambulismo tecnológico”.

Trabalhando numa visão de CTS, na definição da prática tecnológica, devem ser levados em consideração, não somente os “aspectos técnicos”, identificados pelo conhecimento, destreza e técnica, ferramentas e máquinas, recursos humanos ou dejetos. É preciso também considerar outros aspectos mais abrangentes, relacionados a fatores políticos, econômicos, sociais, culturais e éticos da prática tecnológica.

Desta forma, na busca de novas formas de ensino-aprendizagem para a educação tecnológica, que valorizem o senso crítico e os valores humanos, uma abordagem que considere a relação entre ciência, tecnologia e sociedade seria recomendável. Se, por um lado, há a necessidade de se formar novos técnicos competentes nas novas tecnologias, com vistas à inserção dos mesmos no mercado de trabalho, por outro lado, há a necessidade de formar estes técnicos no sentido de que vejam a tecnologia com relação a suas componentes sociais, com vistas terem uma melhor compreensão da sociedade contemporânea.

Assim, se o currículo de um curso tecnológico foi estruturado a partir de temas significativos, seria interessante que os professores aproveitassem a abertura proporcionada por esta abordagem para fomentar discussões mais amplas, envolvendo, por exemplo, questões de CTS. A forma de inclusão deste tipo de discussões junto ao seqüenciamento de conhecimentos científicos e tecnológicos que serão estudados, dependerá, evidentemente, da dinâmica de trabalho escolhida pelo professor. Poderá ocorrer, por exemplo, na forma de leitura de textos e debates em sala de aula, realização de pesquisas, projeção de filmes, palestras etc. Entretanto, não desenvolveremos este tema em profundidade neste trabalho.

No caso do ensino de redes de computadores, discussões envolvendo questões de CTS poderiam incluir assuntos como: o estudo dos fatores que levaram à consolidação das tecnologias da Internet frente a outros modelos ou tentativas de padronização; o controle dos endereços na Internet; a questão dos direitos autorais para uso de programas; o *software livre*; a questão do monopólio e da venda casada de produtos; a polêmica em torno dos editais de compra para órgãos públicos privilegiando produtos com software fechado em detrimento de produtos abertos; as tecnologias proprietárias que não permitem a interoperabilidade com outros sistemas; o lançamento de novos sistemas incompatíveis com a base material existente, forçando a compra de novos equipamentos e tornando obsoletos outros que ainda poderiam servir por um bom tempo; as tentativas e políticas públicas de universalização do acesso à Internet etc.

2.8 Bases para propostas educacionais que integrem metodologias e conteúdos na educação tecnológica

Ao longo deste capítulo, apresentamos uma série de contribuições da educação, procurando enfatizar, em cada caso, aplicabilidade destas na educação científica e tecnológica. Nosso objetivo foi buscar elementos para elaborar algumas propostas educacionais alternativas para a área de redes de computadores.

Em termos de abrangência, as propostas educacionais que estamos elaborando procuram trazer subsídios para a definição do currículo dos cursos na área, auxiliando no processo de seleção e organização dos conhecimentos a serem abordados. Procura também oferecer suporte para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, centrando o foco da aprendizagem na *estrutura conceitual* da área, e ainda oferecer aportes ao processo de avaliação da aprendizagem.

As contribuições da educação que foram descritas neste capítulo partem do princípio de que os estudantes adquirem conhecimento tendo como base seus conhecimentos anteriores. Estes modelos foram em parte influenciados pelos trabalhos de Piaget e Vygotsky sobre a cognição humana, ambos brevemente discutidos neste capítulo. Também relacionamos estas idéias com as idéias dos filósofos da ciência contemporâneos (Bachelard, 1996; Kuhn, 1978; Popper, 1985; Lakatos, 1979), os quais procuram explicar o processo de construção do conhecimento científico e tecnológico. No nosso entender, as explicações da epistemologia construtivista sobre o desenvolvimento científico vêm reforçar a hipótese de que a construção de conceitos pela mente humana se dá a partir dos conhecimentos anteriores, em particular, no que se refere ao aprendizado de conhecimentos complexos, como encontrados nas áreas científicas e tecnológicas. Acrescenta-se ainda que, algumas vezes, os novos conhecimentos podem caracterizar uma ruptura com os conhecimentos anteriores, devendo isto ser levado em conta durante o aprendizado.

Outras contribuições da educação aqui apresentadas foram o modelo da *aprendizagem significativa*, proposto inicialmente por Ausubel, o *currículo espiral*, proposto pelo educador Bruner e a idéia de *abordagem temática*, proposta por Freire. Estas contribuições formam o eixo principal de nossas propostas educacionais para o ensino-aprendizagem de redes de computadores, as quais já podem ser delineadas.

No que se refere à seleção dos conhecimentos que comporão os programas dos cursos, a idéia é nos apoiarmos em uma *abordagem temática*, inspirada nas idéias pioneiras de Freire (1981) e em trabalhos correlatos aplicados à educação científica e tecnológica (Delizoicov e Angotti, 1994; Delizoicov, 2001; Delizoicov et al., 2003; GREF, 1990, 1991, 1995). Além de oferecer um novo modo de selecionar os conhecimentos, escolhidos a partir de *temas significativos*, esta abordagem permite dar um significado explícito aos conhecimentos que

serão desenvolvidos no processo educacional, além de proporcionar uma abertura para a discussão de temas mais amplos, relacionados com o balanço entre tecnologia e sociedade, como propõem os estudiosos de CTS (Bazzo, 1998; Pacey, 1990; Winner, 1997).

Uma vez definidos os temas significativos gerais que darão corpo ao currículo, a idéia é organizar os conhecimentos segundo o que propõe o modelo da aprendizagem significativa (Ausubel et al., 1980; Moreira, 1983, 1998; García et al., 2000; Palmero, 2004). O trabalho consiste em fazer um “mapeamento” da estrutura conceitual e proposicional dos conhecimentos a serem ensinados ou aprendidos. Em outras palavras, é preciso identificar os conceitos e princípios mais gerais e abrangentes e organizá-los hierarquicamente, de modo que, progressivamente, abranjam os conhecimentos específicos.

A partir deste mapeamento, obtém-se um seqüenciamento “ótimo” para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, como afirma Novak (2003), em que os conceitos são trabalhados do geral ao específico, facilitando o processo de aprendizagem significativa e o desenvolvimento de *idéias âncoras* que vão facilitar as aprendizagens futuras.

Novak (2003) foi também o criador dos *mapas conceituais*, principal ferramenta da aprendizagem significativa, os quais, entre outros benefícios, podem ser de grande valia na construção do “mapeamento” da estrutura conceitual e proposicional da matéria. Como este é também um dos nossos objetivos em nossas propostas educacionais, apresentamos os mapas conceituais no próximo capítulo.

Durante o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, visando desenvolver os *conceitos fundamentais* de redes de computadores, a idéia é utilizar as noções de *estrutura* e *currículo espiral*, propostas pelo educador Bruner (1973). Em áreas que apresentam forte dinâmica, como a área de redes de computadores, o objetivo é consolidar o aprendizado destes conceitos fundamentais, fazendo com que sirvam de suporte tanto para entender as redes atuais como as redes futuras.

Uma síntese das contribuições da educação que foram utilizadas para fundamentar nossas propostas educacionais é apresentada na figura A.1, no anexo A. Esta representação gráfica foi construída utilizando um *mapa conceitual*. Esses mapas são descritos no próximo capítulo.

Já com o suporte dos mapas conceituais, no capítulo 4, detalhamos os *conceitos fundamentais* de redes de computadores e apresentamos uma forma alternativa para a *organização do conhecimento* da área, tendo como base as propostas aqui delineadas, tratando tanto dos aspectos relativos à seleção dos conhecimentos como da sua organização.

Capítulo 3

Os Mapas Conceituais como Ferramenta Educacional

Este capítulo apresenta os *mapas conceituais*, a principal ferramenta da *aprendizagem significativa* de David Ausubel, discutida no capítulo 2. Os mapas conceituais, desenvolvidos por Joseph Novak, são ferramentas para organizar e representar conhecimento em um domínio específico de conhecimento, sendo utilizados atualmente em uma grande variedade de aplicações.

Em aplicações educacionais, os mapas conceituais permitem, entre outras coisas, representar a estrutura conceitual e proposicional da matéria a ser ensinada ou aprendida. No caso de áreas científicas e tecnológicas, os mesmos podem dar grande contribuição para organizar os grandes corpos de conhecimento que devem ser trabalhados no ambiente acadêmico. Permitem explicitar como cada conceito se relaciona com os demais na composição do currículo dos cursos e ainda estabelecer um seqüenciamento “ótimo” para o desenvolvimento dos conhecimentos, segundo o que sugere a aprendizagem significativa. No caso de nossas propostas educacionais para o ensino-aprendizagem de redes de computadores, são estes alguns dos elementos que nos levaram a escolher os mapas conceituais como ferramenta de apoio, auxiliando na construção do currículo dos cursos, no seu desenvolvimento e uso na sala de aula e também no processo de avaliação, como veremos adiante.

Na seqüência deste capítulo, primeiramente, apresentamos a definição dos mapas conceituais, incluindo sua forma gráfica, sintaxe e semântica. Em seguida, mostramos aspectos relativos à sua construção. Depois, apresentamos como os mapas conceituais se relacionam com a aprendizagem significativa, exemplificando seus diversos usos como ferramenta educacional, incluindo o auxílio no planejamento curricular.

3.1 Definindo os mapas conceituais

Os mapas conceituais foram desenvolvidos pela equipe de Joseph Novak, nos anos 70, no curso das pesquisas sobre a aprendizagem significativa (Novak, 2002, 2004). São utilizados como uma linguagem ou ferramenta gráfica para a descrição, organização e comunicação de conceitos.

Em essência, os mapas conceituais provêem uma representação gráfica de conceitos, usualmente representados dentro de retângulos, círculos ou uma “caixa” de outro formato. Arcos conectam conceitos por meio palavras que especificam uma relação entre os conceitos, formando proposições mediante frases simples, evidenciando as inter-relações entre os conceitos.

Segundo a definição de Novak (2003), conceitos são regularidades percebidas sobre eventos ou objetos, que permitem caracterizá-los por meio de suas características gerais. Os conceitos são designados por uma etiqueta, normalmente uma palavra, ou um conjunto delas. Todavia, pode-se também designá-los por símbolos ou outra forma que permita identificá-los. Já proposições são expressões sobre algum objeto ou evento no universo, seja ele natural ou construído pelo homem. As proposições contém dois ou mais conceitos conectados por palavras de ligação formando *expressões significativas*.

A figura 3.1 mostra um mapa conceitual representando de forma simples o que é uma rede de computadores. As linhas são lidas de maneira natural, de cima para baixo, a menos que haja uma seta indicando outro sentido de relação entre os conceitos. Nesta figura, por exemplo, os termos *redes de computadores*, *aplicações de rede* e *hosts* são conceitos. A frase “*Redes de computadores interligam hosts*” é uma proposição, formando uma expressão significativa.

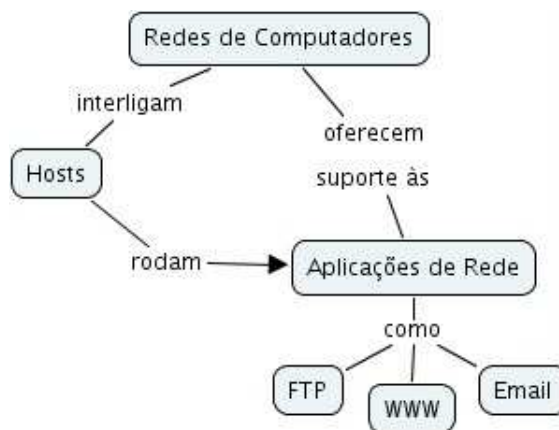


Figura 3.1: Exemplo de mapa conceitual.

Darmofal et al. (2002), usando mapas conceituais para impulsionar o entendimento conceitual em engenharia aeroespacial, classificam ainda os conceitos em *conceitos concretos*

e *conceitos abstratos*. *Conceitos concretos* são idéias sobre objetos comuns, como asa, turbina, ou qualidades destes objetos como elíptico, vermelho, plano. Conceitos concretos são aprendidos pela apresentação de uma variedade de instâncias dos objetos cujas características podem ser diretamente percebidas pelo aprendiz. *Conceitos abstratos* são regras que classificam os objetos ou eventos. Estes conceitos requerem uma descrição verbal para poderem ser aprendidos de uma maneira adequada, por exemplo, turbulência, empuxo, atrito. Um aluno que entendeu um conceito abstrato, aprendeu sua regra de classificação, podendo aplicá-la em outras circunstâncias. No caso, o que importa é que ele saiba usar e adaptar seu conhecimento em novas situações e integrar o novo conceito com seu conhecimento prévio. Segundo os autores desse artigo, quando um estudante começa a organizar seu conhecimento em torno de conceitos de uma disciplina, pode-se dizer que ele começa a dominar esta disciplina.

No caso das redes de computadores, muitos conceitos fundamentais da disciplina são *conceitos abstratos*, ou requerem abstrações para serem entendidos. Por exemplo, *comutação de pacotes, circuito virtual, arquitetura em camadas, protocolo de comunicação* etc. Mesmo a realização de experimentos sobre uma rede real requer um nível elevado de abstração para que se possa compreender o que está sendo observado. Portanto, essa característica dos conhecimentos envolvidos nas redes de computadores impõe cuidados adicionais na elaboração do programa dos cursos e no desenvolvimento de conceitos em sala de aula, procurando tornar explícita a relevância prática do que vai ser aprendido, bem como a generalidade teórica dos conceitos envolvidos.

Outra característica dos mapas conceituais é que os conceitos são representados hierarquicamente, com os conceitos mais gerais e abrangentes representados no topo e os mais específicos nos níveis mais baixos da estrutura do mapa. Também são importantes nos mapas conceituais as ligações cruzadas entre conceitos de diferentes domínios de conhecimento, as quais ajudam a entender como estes domínios estão relacionados entre si. Segundo Novak (2003), estas duas características dos mapas conceituais são importantes para organizar e facilitar o pensamento criativo: a estrutura hierárquica que é representada em “bons mapas” e a habilidade de procurar e caracterizar ligações cruzadas.

Uma característica final que pode ser adicionada nos mapas conceituais são exemplos específicos de eventos ou objetos que podem ajudar a esclarecer o significado de um dado conceito. No mapa conceitual da figura 3.1, temos uma ligação cruzada definindo a proposição: “*Hosts* rodam *aplicações de rede*”. Também temos exemplos específicos de *aplicações de rede*, como, *WWW, email e FTP*.

A figura 3.2¹ mostra uma forma de descrever os mapas conceituais utilizando a própria representação dos mapas conceituais para isto.

¹Tradução livre do mapa conceitual apresentado em <http://cmap.ihmc.us>.

princípios básicos da aprendizagem significativa: o princípio de *organização hierárquica*; a *diferenciação progressiva*, que caracteriza o desenvolvimento da aprendizagem indo do geral ao específico, descendo na estrutura hierárquica; e a *reconciliação integrativa*, que consiste em explorar as relações entre conceitos e proposições, apontando similaridades e diferenças entre os mesmos, voltando seguidas vezes na hierarquia de conceitos, a fim de evidenciar como cada conceito mais específico se relaciona com o todo.

Além de poderem ser utilizados como ferramentas de aprendizagem, os mapas conceituais também podem, segundo Novak (2003), ser utilizados como ferramentas de avaliação, permitindo identificar, através de mapas construídos pelos alunos, tanto idéias válidas quanto inválidas sobre determinado assunto. Mais adiante neste documento, apresentamos exemplos de uso dos mapas conceituais na avaliação da aprendizagem, bem como a maneira como pretendemos utilizá-los em nossas propostas educacionais para a questão da avaliação.

Outra importante razão para justificar a utilização dos mapas conceituais como ferramenta de aprendizagem, segundo Novak (2003), diz respeito à memória humana. Apesar de não haver estudos conclusivos sobre os processos de memória e como o conhecimento é incorporado ao cérebro humano, diversas fontes afirmam que o cérebro trabalha para organizar o conhecimento em estruturas hierárquicas. Assim, as abordagens de aprendizagem que facilitem este processo aumentam significativamente a capacidade de aprendizado dos alunos. De acordo com Novak (2003), os mapas conceituais servem como um padrão para organizar e estruturar o conhecimento, facilitando sua utilização em outros contextos e também sua retenção na memória por longos períodos de tempo.

Novak (2003) afirma ainda que, em seus fundamentos epistemológicos, o processo de aprendizagem significativa é o mesmo processo usado por cientistas ou matemáticos para construir um novo conhecimento. Esta afirmação vem como resposta a questionamentos deste educador, desde os tempos em que iniciou seus estudos sobre educação. Na época, a epistemologia (discutida no capítulo 2, seção 2.3) era um de seus campos de interesse, em particular os trabalhos de Kuhn (1978), pois ele estava interessado em conhecer a forma como as pessoas criativas estruturavam e solucionavam novos problemas (Novak, 2002).

Em relação à criação de novos conhecimentos, poderíamos também tecer alguns comentários sobre a dinâmica da área de redes de computadores, a qual opera conhecimentos de ponta cujos avanços têm sido espetaculares nos anos recentes. Nesta área, o desenvolvimento tecnológico conjugado nas várias esferas das áreas de eletro-eletrônica e informática tem permitido o surgimento de novas tecnologias, dando suporte a novas aplicações, algumas impensáveis a pouco tempo atrás. Observa-se também uma convergência entre as diversas tecnologias utilizadas nas redes de telecomunicações, rumo à integração de serviços, tendo como base técnicas antes utilizadas exclusivamente nas redes de computadores. Também, a cada dia, aparecem novos modelos e melhores soluções para problemas crônicos das redes,

envolvendo questões como performance, qualidade de serviço, segurança e outros. Apesar destes avanços, problemas como os citados nunca terão uma solução definitiva, além dos novos problemas que surgem a cada dia. Desta forma, a formação de recursos humanos para a área de redes de computadores deve levar em conta estes fatores. Assim, conforme apontamos no capítulo 2, a aprendizagem significativa e sua principal ferramenta, os mapas conceituais, podem ser de grande ajuda neste processo.

No que se refere à construção do currículo dos cursos de redes de computadores, a idéia inicial é determinar a estrutura conceitual da matéria e modelá-la com mapas conceituais. Além de proverem uma visão do conjunto de conhecimentos que seriam trabalhados no curso, os mapas conceituais também podem ser utilizados na organização de temas e tópicos específicos, orientando desta forma o processo de desenvolvimento dos conteúdos em sala de aula.

Também no processo de avaliação da aprendizagem, a idéia é fazer uso dos mapas conceituais, conforme será abordado mais adiante.

3.3 Construindo mapas conceituais

3.3.1 Diretivas para a construção de mapas conceituais

Para a construção de mapas conceituais, Novak (2003) apresenta algumas diretivas. Primeiro, é fundamental que o domínio de conhecimento a ser modelado seja muito familiar para pessoa que vai construir o mapa. Como os mapas conceituais dependem do contexto em que serão utilizados, é importante identificar a atividade ou o problema que se está tentando entender. Isto cria um contexto que ajuda a determinar a estrutura hierárquica do mapa.

No caso de redes de computadores, por exemplo, professores, pesquisadores ou especialistas, tendo como referência o conhecimento da área, têm condições de determinar a estrutura conceitual da matéria e modelá-la com mapas conceituais. Certamente, um trabalho colaborativo entre diversas pessoas pode trazer resultados mais interessantes.

Uma vez que um domínio de conhecimento e seu contexto tenha sido selecionado, o próximo passo é identificar os conceitos chaves que se aplicam a este caso. Em seguida, eles devem ser listados e ordenados a partir dos conceitos mais gerais e abrangentes para este problema ou situação particular, até os conceitos menos gerais ou específicos. Este ordenamento pode ser apenas aproximado, servindo para ajudar nos passos iniciais da construção do mapa.

A próxima etapa é ligar os conceitos e construir um mapa preliminar, iniciando com os conceitos mais gerais e formando uma estrutura hierárquica inicial, seguida de algumas revisões.

Uma vez construído o mapa preliminar pode-se buscar por ligações cruzadas. Estas ligações entre diferentes domínios de conhecimento sobre o mapa vão ajudar a ilustrar como cada parte do mapa está relacionada com as demais. Finalmente, o mapa deve ser novamente revisado, reposicionando-se conceitos de modo a torná-lo mais claro.

Por exemplo, a figura 3.3 relaciona alguns conceitos chave relacionados às redes de computadores, como Internet, *Hosts*, *Comutação de Pacotes*, *Protocolos de Comunicação*, *Meio Físico de Comunicação*, *Aplicações de Rede*, *WWW*, *E-mail*, *FTP* e *VoIP*. O que é mostrado é um dos possíveis mapas que podem ser construídos. Várias proposições, que são unidades de significado originadas a partir da ligação de dois conceitos, podem ser geradas, devendo o criador do mapa ter o cuidado de verificar a validade conceitual de cada uma. É importante ressaltar que o mapa conceitual construído depende também da visão de quem o construiu, e isto deve ficar claro para as pessoas que vão utilizar este mapa posteriormente.

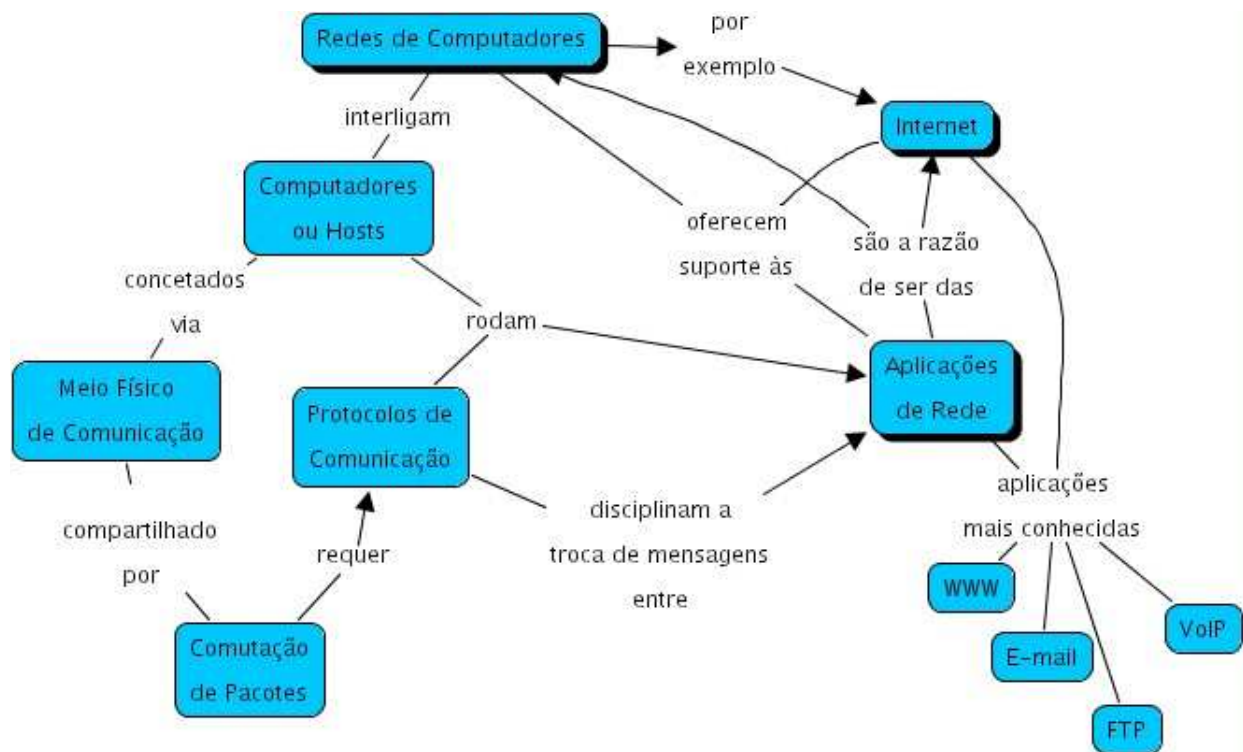


Figura 3.3: Visão geral das redes de computadores.

É importante reconhecer que todos os conceitos estão, de algum modo, relacionados entre si. Portanto, é necessário ser bastante seletivo na identificação das ligações cruzadas entre os conceitos e o mais preciso possível na escolha das palavras que vão conectar os conceitos.

Aqui entra novamente o papel criativo do professor ou especialista que está realizando a modelagem.

Outra observação importante é que um mapa nunca está definitivamente concluído. Não existe “o mapa conceitual” que represente de forma única um problema, situação ou conjunto de conhecimentos. Cada mapa que for construído, mesmo que tenha sido construído por um conjunto de especialistas, sempre poderá ser aperfeiçoado ou modificado em maior ou menor grau. Note que isto é também o caso de outros mecanismos de representação, por exemplo, em domínios como o da engenharia de software.

3.3.2 Passos para a construção de mapas conceituais

A figura 3.4² ilustra os passos para a construção de um mapa conceitual, conforme as sugestões de Novak (2003). Segundo o autor, os passos para a construção de um mapa conceitual incluem:

1. Definir a atividade ou problema que se está tentando resolver;
2. Construir uma lista de 15-20 conceitos, considerando os eventos e objetos chaves que permitem caracterizar a atividade ou problema em questão;
3. A partir da lista de conceitos, ordená-los dos mais gerais aos mais específicos;
4. Começar o mapa com os 1-4 conceitos mais gerais;
5. Ligar os conceitos com palavras que descrevam explicitamente a relação entre eles;
6. Ir incluindo novos conceitos, continuando a construção da hierarquia do mapa;
7. Procurar por ligações cruzadas, relacionando diferentes segmentos do mapa;
8. Reposicionar e redefinir a estrutura do mapa, a fim de melhor acomodar os conceitos e as ligações cruzadas.

²Tradução livre do mapa conceitual apresentado em <http://cmap.ihmc.us>.

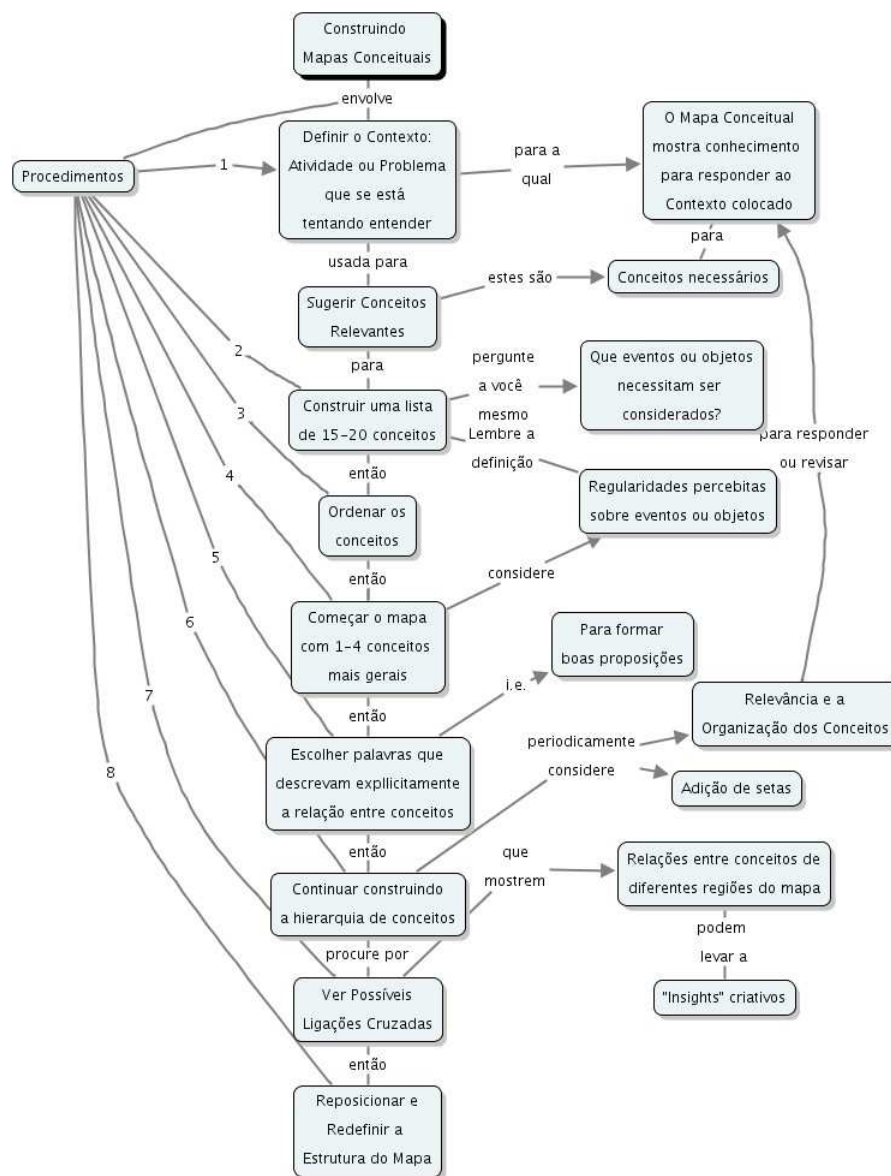


Figura 3.4: Passos para a construção de um mapa conceitual.

3.3.3 Ferramentas computacionais para auxiliar a construção de mapas conceituais

Ferramentas computacionais podem auxiliar muito na tarefa de construção dos mapas conceituais por permitirem a movimentação de conceitos ou grupos de conceitos e suas relações para reestruturar o mapa. Entre estas ferramentas, estão disponíveis gratuitamente na Internet para uso acadêmico, a ferramenta Belvedere³, que serve para a manipulação de

³Belvedere: <http://belvedere.sourceforge.net>

mapas conceituais e é projetada para suportar aprendizagem colaborativa. Foi desenvolvida originalmente na Universidade de Pittsburgh e atualmente é distribuída pelo Laboratório de Tecnologias Interativas de Aprendizagem da Universidade do Hawaii, USA. E a ferramenta IHMC CmapTools⁴ (Cañas et al., 2004), que é um conjunto de ferramentas que facilita a manipulação e publicação na Web de mapas conceituais; foram desenvolvidas pelo Instituto para a Cognição Humana e Artificial da Universidade do Oeste da Florida, USA. A ferramenta CmapTools foi a ferramenta utilizada para criar os mapas conceituais apresentados neste documento.

3.4 Utilizando os mapas conceituais

O uso dos mapas conceituais tem crescido muito nos últimos anos, envolvendo diversos domínios de aplicação⁵. Uma das suas aplicações educacionais mais frequentes é como organizador do conhecimento para auxiliar no desenvolvimento ao ensino-aprendizagem em sala de aula. Entre outras aplicações, destaca-se também: apoio no planejamento de currículos; avaliação da aprendizagem, em que os alunos constroem mapas sobre o conhecimento adquirido; ferramenta de apoio à aprendizagem colaborativa, na qual os alunos, trabalhando em grupo, colaboram na construção de mapas conceituais sobre determinado assunto; modelagem de conhecimento para facilitar a navegação na Web, muitas vezes como suporte a ferramentas educacionais.

Na sequência, é apresentada uma síntese de algumas aplicações educacionais envolvendo mapas conceituais, no âmbito da educação universitária, enfatizando as aplicações correlatas às que pretendemos utilizar neste trabalho.

3.4.1 Os mapas conceituais no planejamento curricular

No que se refere ao planejamento curricular, conforme sugere Novak (2003), os mapas conceituais permitem apresentar de forma concisa os conceitos chaves e princípios a serem desenvolvidos em um curso. A organização hierárquica de conceitos que os mapas propiciam sugere uma sequência “ótima” para o encadeamento do material instrucional, facilitando o trabalho do professor no planejamento de suas atividades. Para tanto, Novak (2003) sugere que seja construído um “macro mapa”, de caráter global, mostrando as principais idéias que

⁴IHMC CmapTools: <http://cmap.ihmc.us>

⁵Ver *Anais da Primeira Conferência Internacional sobre Mapas Conceituais*, com cerca de 150 trabalhos – A.J. Cañas, J.D. Novak, F.G. García (eds) (2004), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology – Proceedings of the CMC2004 First International Conference on Concept Mapping*, vol. 1 and 2, Pamplona, Spain. <http://cmc.ihmc.us>

se planeja apresentar no curso como um todo, ou no currículo todo. Diferentemente das tradicionais ementas, a representação em rede fornecida pelos mapas conceituais permite mostrar a interação entre os diferentes conceitos dentro de um dado domínio de conhecimento, explicitando e hierarquizando os conceitos fundamentais da disciplina. Associados a este mapa global, outros mapas conceituais mais específicos, ou “micro mapas”, mostram a estruturação do conhecimento para cada tópico específico do programa.

Para exemplificar aplicações nesta linha, Cornwell (2000) descreve o uso de mapas conceituais na organização do currículo de um curso de engenharia mecânica, tanto na definição do curso como um todo, como dos conteúdos a serem abordados em cada disciplina. Segundo o autor, os mapas conceituais ajudam os alunos a entender a estrutura do currículo, a relação entre as disciplinas e a organização dos conteúdos dentro das disciplinas. Normalmente, no primeiro ano, os estudantes não têm claro os objetivos do curso e, tipicamente, não conhecem os detalhes do currículo para formar o engenheiro. Fornecendo aos calouros um mapa conceitual que mostra um “instantâneo” da totalidade do currículo, espera-se prover aos estudantes motivação para as disciplinas básicas de matemática e ciências, já que eles podem ver como estas disciplinas se relacionam com o todo e a importância delas para a sequência da formação.

Outra aplicação significativa dos mapas conceituais no âmbito universitário é apresentada por García et al. (2000), que os utiliza no desenho de programas e no desenvolvimento de unidades temáticas em cursos de engenharia agrícola. Os mapas são utilizados para justificar de maneira rigorosa os conteúdos que constituem os programas. Primeiramente, foi desenhado um mapa conceitual geral que engloba os grandes blocos de conhecimento para a formação pretendida. Depois foram elaborados mapas mais detalhados de cada bloco, que serviram de base para a elaboração do programa para o curso. A partir deles, foi determinada a distribuição temporal de cada componente do programa, o grau de detalhamento em que serão tratados e uma proposta para aulas práticas de laboratório e atividades de campo.

Em outra aplicação na área da engenharia, Darmofal et al. (2002) descrevem o uso dos mapas conceituais como técnica pedagógica para melhorar o entendimento conceitual, que é, segundo os autores, a habilidade de aplicar conhecimento em uma variedade de instâncias ou circunstâncias. Mapas conceituais são utilizados para identificar e organizar os conceitos-chaves da engenharia, e mapear as relações destes conceitos-chaves com outras disciplinas e entre elas. O mapa conceitual de cada disciplina provê uma maneira de comunicação entre a equipe de professores e, no planejamento das aulas, auxilia os professores a sequenciar corretamente os conteúdos e verificar o que está sendo trabalhado por outros professores, evitando a duplicação e omissão de idéias importantes. Os mapas também ressaltam as áreas de intersecção entre duas ou mais disciplinas e ajudam os estudantes a entender como as disciplinas são integradas.

3.4.2 Os mapas conceituais no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula

Além da visão global do currículo, na aplicação de Cornwell (2000), citado na sub-seção anterior, os mapas conceituais são também utilizados para ajudar os estudantes a entender os objetivos e propósitos de cada disciplina, bem como entender o encadeamento dos conteúdos técnicos que a constituem. Nos mapas são mostrados, além dos conteúdos a serem estudados, as habilidades e experiências a serem desenvolvidas. O principal objetivo dos mapas conceituais, quando usados em uma disciplina, é, segundo o autor, “ajudar os estudantes a estabelecer conexões entre os vários tópicos cobertos na disciplina e a organizar os conceitos em suas mentes”. Os mapas são utilizados durante todo o desenvolvimento de uma disciplina: no início, para mostrar o que será visto; durante o curso, para acompanhar seu andamento; e ao final de vários capítulos, para mostrar como tópicos de diferentes capítulos se relacionam.

Na questão do desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, podemos destacar o trabalho de María e Irma (2004), no qual os mapas conceituais vêm sendo aplicados a sete semestres na disciplina de Física I em nível universitário. Quatro estratégias de ensino-aprendizagem são apresentadas: 1) O mapa conceitual é utilizado como organizador do conhecimento para apresentar e desenvolver um tema; 2) O mapa conceitual é utilizado para fazer uma síntese de uma explicação, integrando os conceitos discutidos anteriormente e fornecendo ao aluno definições que poderão reforçar seus conhecimentos; 3) O mapa conceitual é utilizado para integrar conceitos vistos anteriormente. Como exemplo, é apresentado no artigo um mapa conceitual tratando do movimento de projéteis, o qual integra os conceitos de movimento uniforme e movimento uniformemente variado; 4) Construção de um mapa conceitual a partir de um texto escrito. A partir de avaliações qualitativas realizadas através da análise de mapas desenhados pelos alunos, os autores afirmam que a estratégia tem sido adequada e que os mapas conceituais têm contribuído para a aprendizagem significativa em física. Segundo a opinião dos alunos, os mapas têm contribuído também para obterem facilmente uma visão global de um tema e entender as relações entre os distintos conceitos que o constituem.

3.4.3 Os mapas conceituais na avaliação do ensino-aprendizagem

Ainda sobre o trabalho de Cornwell (2000), à medida que o curso avança, o autor sugere que os estudantes construam seus próprios mapas conceituais, individualmente ou em grupos. A criação destes mapas requer experiência e entendimento mais aprofundado do estudante, envolvendo capacidades de síntese e avaliação. Por parte do professor, a avaliação destes mapas permite melhor acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem.

Também no âmbito da engenharia, Turns et al. (2000) sugerem a utilização de mapas conceituais em várias funções de avaliação, como para caracterizar o nível de aprendizagem dos alunos em uma disciplina, identificar o conhecimento em um domínio e ainda explorar a concepção de engenharia dos alunos. Os autores expõem duas abordagens de uso dos mapas conceituais na avaliação da aprendizagem. Primeira, os estudantes representam, na forma de um mapa conceitual, a coleção de conceitos e proposições que identificam sobre um determinado tópico. Para avaliação, são considerados tanto aspectos quantitativos (como número de conceitos, ligações, ligações cruzadas, níveis hierárquicos e exemplos), como qualitativos (como presença ou ausência de conceitos, proposições válidas ou inválidas, hierarquização) tendo como base um mapa de referência. Na segunda abordagem, os estudantes constroem os mapas a partir de uma lista de conceitos fornecida a eles, sendo o resultado comparado com um mapa de referência. Na avaliação da aprendizagem em uma disciplina, os mapas conceituais são utilizados no início, para avaliar o conhecimento prévio dos alunos, e ao final, para verificar o ganho em aprendizagem que tiveram. Como exame final, mapas conceituais são utilizados para avaliar o conhecimento dos alunos em um domínio. São enfatizadas e premiadas a identificação de conceitos, a organização hierárquica e ligações cruzadas entre os conceitos.

Gouveia e Valadares (2004) discutem especificamente o papel dos mapas conceituais no processo avaliação da aprendizagem, enfatizando sua função didática. Afirmam que, através dos mapas conceituais, é possível não somente avaliar os conhecimentos adquiridos pelos alunos em função do que foi ensinado, mas também descobrir o que os estudantes sabem, entendem ou podem fazer por conta própria. Para analisar os mapas conceituais, afirmam ser importante olhar para a maneira como os estudantes estruturam, priorizam, diferenciam, relatam e integram os conceitos e exibem suas concepções. Para isto, dividem a análise em duas etapas: 1) Análise global do mapa conceitual, procurando verificar primeiro o aspecto da hierarquização dos conceitos: um mapa majoritariamente linear, descendente, com problemas de ligações entre os conceitos, normalmente caracteriza uma estrutura conceitual pobre; um mapa com vários ramos, com conceitos bem conectados, indica uma estrutura cognitiva mais rica. 2) Análise detalhada do mapa conceitual, procurando checar: se as ligações entre conceitos estão corretas e se não há erros conceituais; se o mapa mostra uma *diferenciação progressiva* e também *reconciliação integrativa* dos conceitos; se as ligações cruzadas são válidas e significativas; se há exemplos válidos.

3.4.4 Os mapas conceituais como suporte à navegação na Web e ferramentas computacionais de apoio

Cañas et al. (1997, 2003), sugerem também diversas aplicações educacionais para os mapas conceituais, todavia, destacam a implementação de ferramentas computacionais visando

facilitar a construção e compartilhamento de modelos de conhecimento. Estas ferramentas estão hoje reunidas no software CMapTools (Cañas et al., 2004), comentado anteriormente, e permitem a construção de mapas conceituais, os quais podem ser ligados a diversas mídias e conteúdos, formando modelos de conhecimento. Oferecem suporte à aprendizagem colaborativa, permitindo aos estudantes colaborarem na construção de conhecimento. Permitem ainda que os mapas construídos hospedados sejam em servidores *Web*, ficando acessíveis a partir de navegadores *Web* comuns.

Sobre esse último ponto, Cañas et al. (1997); Carnot et al. (2001) destacam as vantagens de um ambiente *Web* organizado a partir de mapas conceituais. Segundo os autores, os mapas conceituais estendem as potencialidades das tradicionais páginas de hiper-texto, criando um novo método para organizar e mediar a navegação através das informações. Com os mapas conceituais, segundo os autores, resolve-se o problema comum de perder-se durante a navegação na *Web*. Como todas as ligações (ou *links*) têm uma semântica explícita nos mapas conceituais, o usuário sempre sabe para onde esta ligação vai levar.

Nesta mesma linha de argumentação, Khalifa e Lam (2002) apresentam estatísticas mostrando as vantagens da publicação de informações, em aplicações voltadas à aprendizagem na *Web*, usando mapas conceituais e páginas de hiper-texto, em relação à simples apresentação de informações em termos de tópicos e sub-tópicos. Enfatizam que sítios educacionais *Web*, organizados a partir da estrutura dos mapas conceituais, permitem um processo de aprendizagem mais ativo e exploratório, comparado com a simples distribuição de textos organizados linearmente.

Como exemplo de aplicação interessante dos mapas conceituais na organização de conhecimento em um sítio Internet, podemos citar o projeto CMEX Mars (Briggs et al., 2004), desenvolvido pela NASA, usando a ferramenta CmapTools. Neste projeto os mapas conceituais são utilizados para criar uma biblioteca pública na *Web* para acesso à informações sobre a “exploração do planeta Marte”⁶. Nessa aplicação, os mapas conceituais que formam esta biblioteca são ligados entre si e também com outros recursos da Internet, como figuras, fotografias, mapas, textos, vídeos, URLs etc.

3.5 Conclusões sobre o uso dos mapas conceituais em nossas propostas educacionais

Em nossas propostas educacionais, utilizaremos os mapas conceituais, em primeiro lugar, para organizar os conhecimentos que compõem o programa de cursos na área de redes de

⁶A biblioteca de mapas conceituais do projeto CMEX Mars é acessível na *Web*, no endereço <http://cmex.arc.nasa.gov/CMEX>.

computadores. Como vimos no capítulo 2, a idéia é, uma vez definida a temática em torno da qual serão desenvolvidos os conhecimentos de redes de computadores, determinar a estrutura de conceitos que proporcionem uma compreensão geral do tema escolhido. Essa estrutura de conceitos será então modelada por mapas conceituais de nível geral, ou “macro mapas”, como sugeriu Novak (2003). A partir destes “macro mapas”, cada conceito será detalhado, também a partir de mapas conceituais com maior grau de especificidade, ou “micro mapas”. No próximo capítulo, na seção 4.4, apresentamos a organização do conhecimento que foi construída para a área de redes de computadores.

Além de organizar os conhecimentos que serão vistos no curso, o nosso trabalho pretende ainda utilizar os mapas conceituais para auxiliar o desenvolvimento ao ensino-aprendizagem em sala de aula. Como comentado anteriormente, no estudo de um módulo ou tópico específico, os mapas conceituais podem ser utilizados no início, como organizadores do conhecimento, para explicitar o encadeamento dos conceitos. Também podem ser utilizados ao final do tópico, como síntese ou revisão da parte dos conceitos que foram trabalhados. No capítulo 5, apresentamos um exemplo de utilização dos mapas conceituais em sala de aula, realizado durante o desenvolvimento de um módulo de formação sobre redes de computadores.

Para subsidiar essas atividades, a partir de mapas conceituais disponíveis em um *ambiente Web*, nossa idéia é também ligar cada conceito, ou tópico em estudo, com outras informações e materiais didáticos, apropriados para a discussão do conceito em questão. No capítulo 5, discutiremos com mais detalhes este ambiente, cujo objetivo é apoiar o professor tanto no planejamento de cursos de redes de computadores, como no seu desenvolvimento em sala de aula.

Outra idéia de uso dos mapas conceituais é no processo de avaliação da aprendizagem. Para esta atividade, é necessário que o professor já tenha uma certa experiência com o uso dos mapas conceituais. Os mapas conceituais podem ser utilizados no início do processo de ensino-aprendizagem, no sentido de verificar o que os alunos já sabem sobre determinado assunto. Durante a aprendizagem para avaliar a compreensão sobre determinado tema e mesmo como exame final da aprendizagem. Também no capítulo 5, apresentamos alguns exemplos de uso dos mapas conceituais como ferramenta de avaliação.

No próximo capítulo, discutimos aspectos relativos à seleção e organização do conhecimento de redes de computadores. Iniciamos com uma resenha histórica das redes, visando determinar os *conceitos fundamentais* que têm permanecido desde o início. Em seguida, discutimos como os conhecimentos são normalmente organizados e abordados nos livros-texto e sua influência no ensino desta matéria. Depois, em função dos elementos teóricos e metodológicos apresentados nos capítulos 2 e 3, apresentamos uma nova maneira de selecionar e organizar os conhecimentos de redes de computadores, culminando com a construção de uma organização do conhecimento alternativa para a área de redes de computadores, modelada por mapas conceituais, como comentado no primeiro parágrafo desta seção.

Capítulo 4

Elementos para a Seleção e Organização do Conhecimento de Redes de Computadores

No capítulo 2, apresentamos alguns elementos teóricos para o fortalecimento da mediação docente na educação tecnológica, cujos eixos principais são a *abordagem temática*, o modelo da *aprendizagem significativa* e o *currículo espiral*. No capítulo 3, apresentamos os *mapas conceituais*, a principal ferramenta da aprendizagem significativa, os quais permitem, em aplicações educacionais, representar a estrutura conceitual da matéria a ser ensinada ou aprendida. Em particular em áreas científicas e tecnológicas, os mesmos podem dar grande contribuição para organizar os grandes corpos de conhecimento que devem ser trabalhados no ambiente escolar, facilitando o trabalho do professor tanto no planejamento, como no desenvolvimento em sala de aula de suas atividades acadêmicas.

A fim de poder determinar a estrutura conceitual de nosso objeto de estudo e propor uma *organização do conhecimento* alternativa para a área de redes de computadores, discutimos neste capítulo aspectos relativos à determinação dos *conceitos fundamentais* desta matéria, assim como a questão da seleção e organização do conhecimento de redes de computadores.

Os *conceitos fundamentais* de redes de computadores formam a estrutura de base para a compreensão das tecnologias de rede em uso atualmente. Estes conceitos não poderão faltar na estrutura conceitual que pretendemos construir. Além disso, a idéia é que os mesmos sejam desenvolvidos durante a aprendizagem de forma *espiral*, repetidas vezes, cada vez com maior grau de profundidade, visando proporcionar aos alunos uma melhor compreensão sistêmica dos mesmos, conforme foi discutido no capítulo 2, seção 2.5. Para a determinação destes conceitos fundamentais, subjacentes à diversas tecnologias de rede, baseamo-nos em uma análise da evolução tecnológica da área, a qual será abordada na primeira seção deste capítulo.

Na segunda seção, discutimos como o conhecimento de redes de computadores está organizado hoje. Este estudo foi realizado tendo como apoio alguns dos principais livros-textos publicados. Além do conteúdo apresentado nos livros, também analisamos em detalhe três diferentes abordagens, utilizadas em três livros-textos recentes, os quais estão entre os mais utilizados em cursos de redes de computadores atualmente. Destaca-se que os livros-textos têm tido uma influência direta no formato e na organização dos cursos de redes de computadores, sendo, portanto, importante uma discussão destas abordagens, a fim de propor uma organização alternativa.

Na terceira seção, apresentamos uma nova maneira de selecionar os conhecimentos de redes de computadores, aplicando as idéias da *abordagem temática*, discutidas na seção 2.6. Em áreas que evoluem rapidamente, como a área de redes, esta nova maneira de selecionar os conhecimentos permite justificar de forma explícita os conhecimentos que serão trabalhados, ajustando o foco sobre tecnologias em uso e com grande impacto na sociedade.

Na quarta seção, apresentamos uma forma alternativa para a organização dos conhecimentos de redes de computadores, procurando atender aos requisitos colocados pela aprendizagem significativa para a organização curricular, discutidos na seção 2.4, e utilizando os mapas conceituais, discutidos no capítulo 3. Esta *organização do conhecimento* permitirá explicitar, de maneira hierárquica, os conhecimentos a serem trabalhados, como também servirá de arcabouço para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, dando suporte a um sequenciamento “ótimo” dos conteúdos.

4.1 Os *conceitos fundamentais* de redes de computadores a partir de uma visão histórica

Esta seção apresenta uma resenha histórica das redes de computadores, procurando destacar, ao longo do processo de desenvolvimento tecnológico, os *conceitos fundamentais* subjacentes às diversas tecnologias. Estes conceitos tiveram um papel fundamental no desenvolvimento das redes como conhecemos hoje, permitindo o entendimento tanto das redes atuais como, possivelmente, das redes futuras.

Para ilustrar os conceitos fundamentais em cada período histórico, nesta seção, alguns deles são destacados (apresentados em **negrito** no texto) e modelados através de mapas conceituais, numa tentativa de mostrar como se relacionam entre si e sua importância para as redes existentes em cada época.

4.1.1 Os primeiros tempos

A história das redes de computadores tem sua origem a partir da difusão dos computadores na década de 1960, quando se passou a considerar a possibilidade de conectá-los entre si, visando o **compartilhamento de recursos** entre usuários distribuídos geograficamente. Naquela época, o universo das telecomunicações era dominado pelas redes telefônicas, cuja tecnologia de base era a **comutação de circuitos**, utilizada para estabelecer um caminho físico de comunicação para o tráfego de voz entre dois aparelhos telefônicos. Este tipo de comutação se mostrava ineficiente para ser aplicado na comunicação entre computadores, a qual era caracterizada por um **fluxo esporádico de dados**, diferente do **fluxo contínuo de voz** do tráfego telefônico. Na conexão entre computadores, as aplicações típicas eram o acesso remoto e a transferência de arquivos, o tráfego gerado consistindo de curtos intervalos de atividade, espaçados no tempo. Por exemplo, no caso do acesso remoto, a comunicação consiste no envio de um comando a um computador remoto, seguido de períodos de inatividade, enquanto se espera uma resposta.

Em 1964, foi apresentado o primeiro trabalho sobre a **comutação de pacotes**, por Leonard Kleinrock. Neste trabalho, a partir da análise de parâmetros como o **atraso** (*delay*) e a **capacidade de transmissão** ou **vazão** (*throughput*), demonstrou-se que a comutação de pacotes era mais eficiente que a comutação de circuitos para o tráfego esporádico de dados.

Este foi um passo importante no sentido de aplicar essa tecnologia na interconexão de computadores, sendo esta a opção adotada no plano apresentado por Lawrence Roberts para a ARPAnet (*Advanced Research Projects Agency Network*), a primeira rede de comutação de pacotes e ancestral direta da atual Internet (Leiner et al., 1998).

Após os primeiros testes em 1969, a ARPAnet cresceu rapidamente. Três anos mais tarde, quando foi apresentada publicamente por Robert Kahn em uma conferência internacional, interligava computadores de diversas instituições de pesquisa espalhados pelos Estados Unidos, além de alguns pontos na Europa e Hawaii.

A ARPAnet tinha uma topologia irregular, formada por **nós de chaveamento** interligados entre si. Em cada um destes nós, as mensagens que chegavam nos enlaces de entrada eram armazenadas temporariamente e encaminhadas aos enlaces de saída, caracterizando uma rede de pacotes do tipo **armazena-e-reenvia** (*store-and-forward*). Cada **equipamento terminal** (chamado de *host*) era conectado a um nó de chaveamento, chamado IMP (*Interface Message Processor*), hoje conhecido como **roteador** (*router* ou *gateway*). A topologia da rede previa que entre dois IMP deveria haver sempre a possibilidade de dois caminhos, aumentando a confiabilidade da rede. A comunicação se dava na forma de pacotes, chamados **datagramas**, roteados em função do endereço do destinatário. Em cada *host*¹, um

¹ Alguns termos em inglês foram preservados devido ao uso generalizado dos mesmos na área de redes de

programa, chamado NCP (*Network Control Protocol*), era implementado e incorporado ao sistema operacional. Este programa permitia que um computador se comunicasse com outro através de um **protocolo fim-a-fim**. As definições deste protocolo caracterizam a primeira RFC² da Internet. A interface entre o usuário e o protocolo de controle da rede era realizada por uma aplicação chamada telnet, a qual é utilizada até hoje a fim de estabelecer uma sessão em um computador remoto.

No projeto da ARPAnet, um objetivo visado era que a rede deveria continuar provendo o serviço, mesmo em caso de falha de redes ou roteadores. Para conseguir isto, decidiu-se manter as informações sobre o estado da comunicação somente nos *hosts*. Nos roteadores nenhuma informação sobre a comunicação deveria ser armazenada. Isto levou a uma rede baseada em mensagens sem garantia de entrega dos dados (Clark, 1988). Neste caso, os serviços de comunicação oferecidos são caracterizados como sendo do tipo **melhor esforço** (*best effort*), pois não é possível a reserva de recursos visando garantir uma determinada **qualidade de serviço** (QoS) às aplicações.

Na ARPAnet, os diversos computadores conectados em rede eram, em muitos aspectos, incompatíveis entre si, provenientes de fabricantes diferentes e utilizando sistemas operacionais específicos. Isto é enfatizado como realmente inovador na experiência.

Apesar de a ARPAnet ser uma rede fechada, onde para se comunicar com um *host* era necessário estar conectado a um IMP da ARPAnet, pode-se dizer que esta foi a primeira rede geograficamente distribuída, ou WAN (*Wide Area Network*).

Também nestes primeiros tempos, foi desenvolvida a primeira versão da aplicação de correio eletrônico, a qual se tornou a aplicação mais utilizada por cerca de uma década, contribuindo enormemente para a popularização das redes.

Além da ARPAnet, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa, surgiram outras redes baseadas na comutação de pacotes, cada uma delas utilizando tecnologias particulares. Dentre estas redes estava a ALOHAnet, desenvolvida por N. Abramson (1970), baseada na **difusão** (*broadcast*) de mensagens via rádio, interligando computadores localizados em diferentes ilhas do Hawaii, e a Ethernet, desenvolvida por Metcalfe e Boggs (1976), inspirada no sistema de difusão da ALOHAnet, porém sobre um barramento metálico de cabos coaxiais, que deu origem às chamadas redes locais de computadores, ou LAN (*Local Area Network*) (Leiner et al., 1998). Para o controle do acesso ao meio compartilhado, eram utilizados **protocolos de acesso randômico**, como o **protocolo ALOHA** na ALOHAnet e o **protocolo CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*), na Ethernet.

computadores.

²RFC (*Request for Comments*) são documentos que definem padrões para a Internet, publicadas pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), organismo de regulamentação do modelo de protocolos Internet.

Além dos esforços aqui citados, diversas outras companhias estavam envolvidas no desenvolvimento de redes com arquiteturas proprietárias, formando um emaranhado de tecnologias. A Digital, lançou em 1975 sua DECnet, que interligava computadores tipo PDP-11, cuja organização de protocolos em camadas inspirou o desenvolvimento do *modelo OSI*, que será discutido a seguir na sub-seção 4.1.3. Também são do mesmo período os desenvolvimentos da Xerox (com a arquitetura XNS) e a IBM (com a arquitetura SNA) (Kurose e Ross, 2000).

O mapa conceitual da figura 4.1 ilustra a relação entre alguns conceitos e tecnologias envolvidos nas primeiras redes de computadores. Este mapa conceitual foi construído tendo como base o texto apresentado anteriormente nesta seção. A partir da leitura do texto, os diversos *conceitos fundamentais* que foram surgindo no texto (apresentados em **negrito**) foram sendo incorporados ao mapa e relacionados através de frases de ligação, obedecendo, em certa medida, a cronologia histórica dos desenvolvimentos da área. Nesse mapa, os retângulos claros representam conceitos e os retângulos de cor cinza são exemplos de tecnologias. Também estão representados no mapa os pesquisadores com contribuições significativas no período.

Analisando o mapa, os primeiros princípios a destacar são os conceitos de **comutação de pacotes** e **comutação de circuitos**, colocados em oposição dependendo da característica da comunicação a ser realizada. As diferenças de performance entre estas tecnologias, quando aplicadas às redes de computadores, foram estabelecidas a partir da análise de parâmetros como o **atraso** e a **vazão**.

A comutação de pacotes e a comutação de circuitos são, ainda hoje, dois conceitos gerais que podem servir como ponto de partida para se iniciar uma discussão sobre o funcionamento das redes de computadores. Esses conceitos permitem marcar as grandes diferenças existentes em termos tecnológicos, por exemplo, entre as redes de computadores e o sistema de telefonia analógica tradicional.

A partir da aceitação da comutação de pacotes como tecnologia de base para as redes de computadores, esta técnica foi adaptada para ser aplicada em diferentes tipos de redes. Destacam-se em particular as redes tipo **armazena-e-reenvia**, como a ARPAnet, que levou a estrutura da Internet como conhecemos hoje. E as redes tipo **difusão**, como a ALOHAnet, que levou às redes Ethernet, largamente utilizadas como redes locais hoje em dia, e as redes sem fio, colocadas como tendência tecnológica na atualidade, cujo **protocolo de acesso ao meio** é similar ao protocolo desenvolvido para a ALOHAnet. Portanto, os conceitos citados, assim como os conceitos subjacentes a estas tecnologias, formam parte dos conceitos fundamentais de redes de computadores, os quais devem ser trabalhados de forma especial no ensino-aprendizagem desta disciplina.

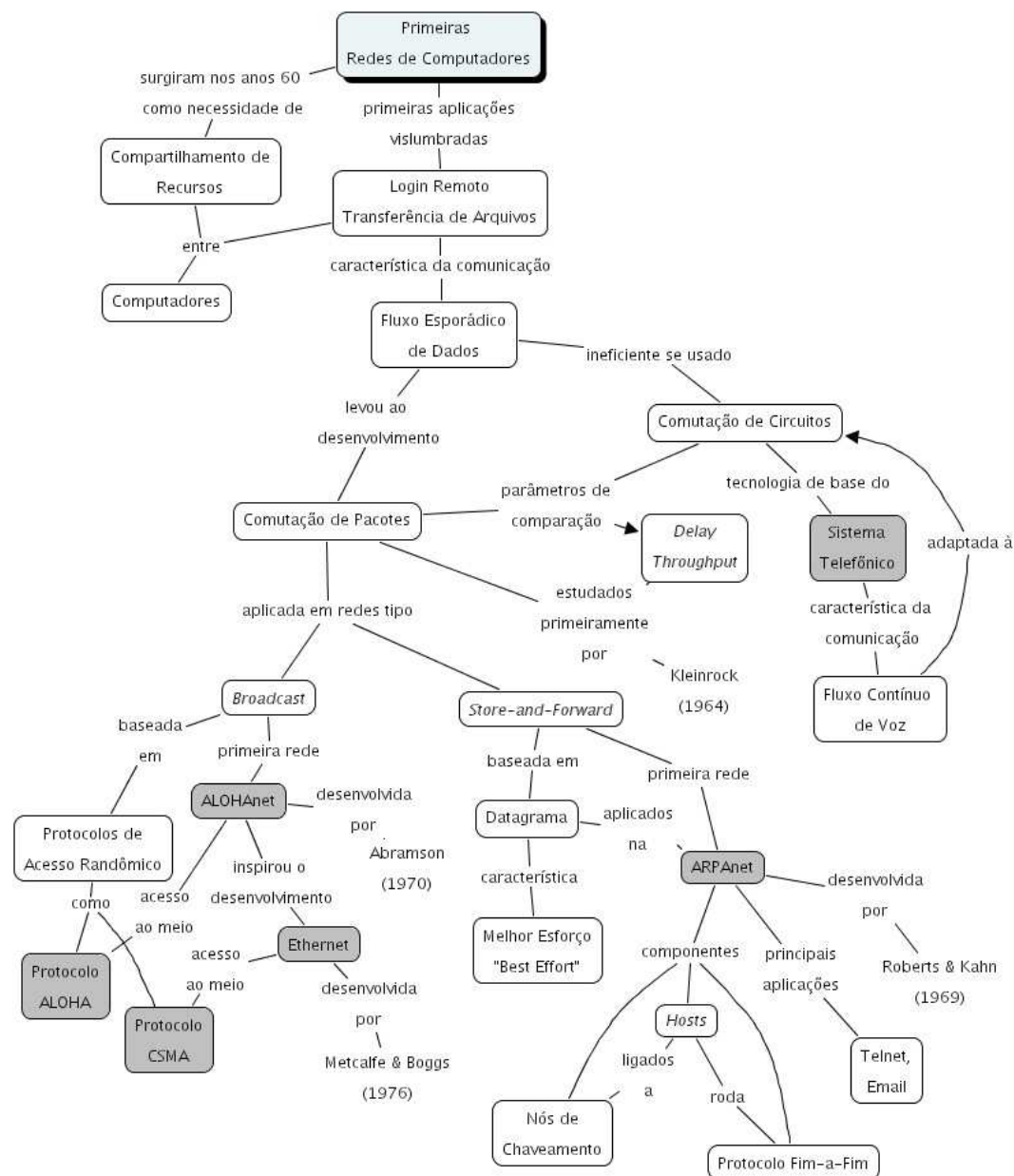


Figura 4.1: Conceitos fundamentais nas primeiras redes de computadores.

4.1.2 Desenvolvimento da arquitetura Internet e expansão das redes de computadores

Outro ponto significativo no caminho em direção às redes atuais foram os trabalhos de Vinton Cerf e Robert Kahn, em 1974, junto à ARPAnet, visando à definição de um protocolo que permitisse interconectar redes a partir de uma arquitetura aberta, ou seja, sem impor uma arquitetura particular a cada rede, que levou aos protocolos da Internet, publicados originalmente em 1974 (Leiner et al., 1998; Clark, 1988).

O princípio de base da arquitetura em desenvolvimento era ter as diferentes redes interconectadas por uma camada de chaveadores de pacotes, que foi chamada de Internet. Os objetivos da Internet eram: a comunicação deveria continuar, mesmo com a perda de redes ou roteadores; deveria ser possível suportar diferentes tipos de comunicação e acomodar diferentes tipos de redes; dever-se-ia permitir a distribuição do gerenciamento dos recursos; dever-se-ia ter um custo efetivo; dever-se-ia permitir acrescentar novos *hosts* com facilidade (Clark, 1988).

No desenvolvimento dos protocolos pretendidos, os estudos de performance existentes contribuíram para que cedo se reconhecesse a importância relativa dos parâmetros atraso e vazão, em função do tipo de aplicação a ser utilizada. Um acesso remoto, por exemplo, requer atraso reduzido na entrega dos dados e pouca vazão. Uma transferência de arquivos, por outro lado, não tem problemas com o atraso, mas requer uma vazão elevada. Ficou claro, todavia, que seria difícil suportar todos os serviços com um único protocolo. Por exemplo, para o fluxo contínuo de dados em tempo real, como a voz digitalizada, o essencial é minimizar o atraso; contudo, a possível perda de um pacote poderia ser substituída por um instante de silêncio sem prejudicar o entendimento humano.

Estes fatores levaram ao desenvolvimento de uma **arquitetura em camadas** para a Internet, representada na figura 4.2, centrada nos protocolos **TCP/IP** (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), separados em duas camadas. O **TCP**, faz parte do que foi chamado **camada transporte**, com um **serviço orientado a conexão**, confiável, para aplicações como, por exemplo, transferência de arquivos. Esta camada transporte foi implementada sobre uma outra, chamada **camada rede**, definida pelo protocolo **IP**, com um **serviço não orientado a conexão**, não confiável, baseado em **datagramas**, para aplicações interativas e tempo real.

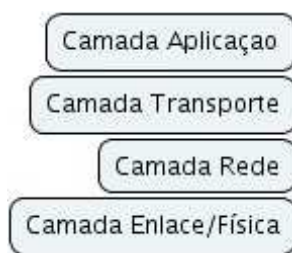


Figura 4.2: As camadas do Modelo Internet.

Os protocolos TCP/IP foram adotados como padrão pela ARPAnet em 1983, em substituição ao NCP, que deixou de existir. No final da década de 1980, com o aperfeiçoamento do TCP, ao qual foram agregados mecanismos de **controle de congestionamento**, e o desenvolvimento do **DNS** (*Domain Name System*), usado para mapear endereços IP em nomes legíveis para as pessoas, as principais peças da Internet estavam em funcionamento.

Com a difusão do TCP/IP o número de redes, máquinas e usuários, conectados à Internet, cresceu rapidamente. Talvez uma das razões deste sucesso tenha sido o **modelo de referência TCP/IP**, que tornou a universalização dos serviços possível a todas as empresas.

Outros esforços para criar redes de computadores interligando universidades também podem ser citados, como a BITnet (*Because It's Time Network*), que por vários anos proveu serviços de correio eletrônico e transferência de arquivos a instituições de ensino e pesquisa, a UUNet (*Unix-to-Unix Net*), que foi a primeira a oferecer serviço comercial para interconexão em rede, e a NSFnet (*National Science Foundation Network*), financiada pelo governo dos EUA, que oferecia acesso a universidades que não tinham nós da ARPAnet. Esta foi posteriormente adotada pelas principais instituições governamentais americanas, até 1995 quando o tráfego passou a se dar sobre provedores comerciais da Internet, rodando TCP/IP.

4.1.3 Padronização e subdivisão em camadas das redes de computadores

Em paralelo ao desenvolvimento das redes de computadores, grande parte delas baseadas em tecnologias proprietárias, tiveram início os esforços visando à padronização de protocolos. Talvez a peça mais significativa destes esforços tenha sido o trabalho da ISO (*International Standards Organization*) na definição de um modelo de referência para interconexão de sistemas abertos, conhecido como **modelo de referência OSI** (*Open System Interconnection*) (Day e Zimmerman, 1983), em 1980, o qual previa uma subdivisão dos protocolos de rede em sete camadas. Cada camada deveria criar um nível de abstração diferente, devendo realizar uma função bem definida a camada superior, omitindo detalhes quanto a sua implementação. A figura 4.3 ilustra as sete camadas deste modelo.



Figura 4.3: As sete camadas do Modelo de Referência OSI.

A figura 4.4 mostra, na forma de um mapa conceitual, além do modelo OSI, outras iniciativas de diferentes organismos internacionais para padronização das redes de computadores, as quais serão comentadas ao longo deste capítulo.

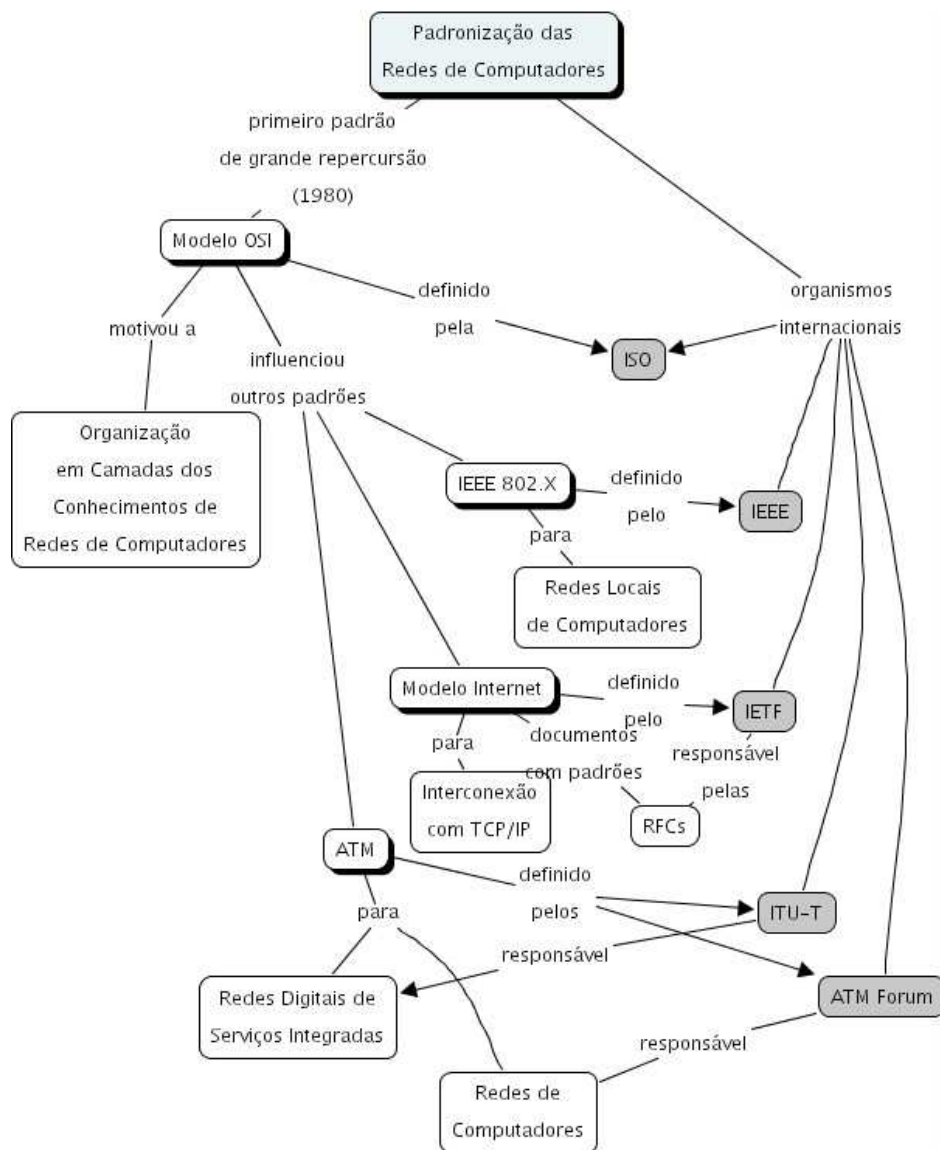


Figura 4.4: Padronização das redes de computadores.

Com a padronização das redes de computadores vários conceitos fundamentais se consolidaram, sem os quais hoje não seria possível pensar a interconexão das redes, já que envolvem aspectos do projeto, implementação, operação, documentação e mesmo do estudo das diversas tecnologias associadas. Entre estes conceitos, estão os diversos princípios envolvidos na definição dos **protocolos de comunicação** e da **arquitetura em camadas**, como **entidades de redes**, **unidade de dados de protocolo**, **encapsulamento de protocolos** etc. Qualquer nova arquitetura de rede ou protocolo que venha a surgir, necessariamente, será definida a partir destas bases conceituais.

Na área de redes locais de computadores os esforços de padronização foram iniciados pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), em 1980, com a criação do padrão IEEE802. A idéia inicial era ter um único padrão, baseado numa topologia em barramento, com protocolo de acesso similar ao utilizado pela Ethernet, prevendo uma subdivisão em três camadas: camada física, controle de acesso ao meio e interface com nível superior. Por pressão das empresas, no ano seguinte foram incluídos no padrão IEEE802: o protocolo CSMA-CD (IEEE802-3), utilizado na Ethernet, a qual era comercializada pela empresa 3Com; o *Token bus* (IEEE802-4); e o *Token ring* (IEEE802-5), comercializado pela IBM. Veja figura 4.4.

Com a padronização das redes locais, abriu-se também espaço para que outras empresas pudessem lançar produtos compatíveis com as tecnologias padronizadas. Atualmente, estão ativos junto ao IEEE802 os grupos: IEEE802-3, que se ocupa das redes Ethernet; IEEE802-11, que se ocupa das redes locais sem fio (*wireless LAN*); IEEE802-15, que se ocupa da interligação sem fio de dispositivos conectados a uma estação de trabalho pessoal; IEEE802-16, que se ocupa de conexões sem fio no âmbito das redes metropolitanas; e outros grupos recentes.

4.1.4 Tecnologias visando à integração de serviços nas redes públicas de telecomunicações

Redes públicas de telecomunicações baseadas em **comutação de pacotes** também se desenvolveram e passaram a oferecer serviços de comunicação de dados, como as redes baseadas no protocolo X.25 e *frame relay*, que oferecem um **serviço orientado a conexão**, baseado em **circuito virtual**.

Utilizando comutação rápida de pequenos pacotes de tamanho fixo, chamados células, sobre um circuito virtual estabelecido a priori numa fase de abertura de conexão, um dos desenvolvimentos mais importantes dos anos 1990 foi, sem dúvida, a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)³.

A tecnologia ATM foi definida como padrão pelo ITU-T (*International Telecommunication Union*) para ser utilizada nas Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL), ou B-ISDN (*Broadband Integrated Services Digital Network*). A idéia das RDSI-FL era integrar, em uma única rede de telecomunicações, o suporte às diferentes aplicações, fossem elas utilizadas para tráfego de voz, dados, ou mesmo fluxo contínuo de som e vídeo, incluindo a possibilidade de reserva de recursos. No que se refere às redes

³De fato, as bases da arquitetura ATM, baseada em um serviço orientado a conexão, com pacotes de tamanho fixo, foram desenvolvidas ainda no início dos anos oitenta

de computadores, o ATM surge como uma grande perspectiva de mudança no “paradigma de transmissão” até então utilizado nas redes geograficamente distribuídas e nas redes locais, em particular por permitir a transmissão de pacotes em alta velocidade. Note-se que ela difere sobremaneira da comutação de datagramas, não orientada a conexão, utilizada na Internet.

A tendência dos trabalhos sobre ATM apontava primeiro para uma integração da infraestrutura da Internet com a tecnologia ATM, e num futuro próximo, para um possível domínio dessa nova tecnologia, tanto no que se refere às redes geograficamente distribuídas como às redes locais. Grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento tecnológico foram realizados durante a década de noventa em torno do ATM e de uma estrutura física de redes ópticas para suportá-la. Com respeito à transmissão digital para redes ópticas, sobre a qual roda o ATM, padronizou-se a tecnologia SONET (*Synchronous Optical Network*) baseada em relógios síncronos entre os extremos dos enlaces ópticos. Em particular os grandes enlaces de comunicação (também referidos como *backbones*), que interligam nós importantes de uma rede metropolitana ou mesmo de uma rede de âmbito regional, seguiram a tendência em torno do ATM e das redes ópticas.

No que se refere a padronização e industrialização, além do ITU-T, ligado aos sistemas públicos de telecomunicações, organismos ligados ao meio empresarial da área de informática, como o ATM-Forum⁴, trabalharam intensamente na definição de padrões para uso da técnica ATM nas redes de computadores.

O mapa conceitual da figura 4.5 ilustra a relação entre as primeiras redes de computadores e outras tecnologias de rede que se seguiram, algumas delas consolidadas na atualidade, mostrando, de forma evidente, que grande parte dos conceitos fundamentais têm permanecido inalterados. Este mapa foi construído tendo como base o texto apresentado nas seções anteriores, nas quais os diversos conceitos (apresentados em **negrito**), foram sendo agregados aos ramos do mapa da figura 4.1 que tiveram continuidade em função dos desenvolvimentos tecnológicos considerados.

⁴ ATM-Forum é um consórcio de empresas de informática e telecomunicações que tem como objetivo assegurar a interoperabilidade entre os equipamentos privativos e os das redes públicas de comunicação.

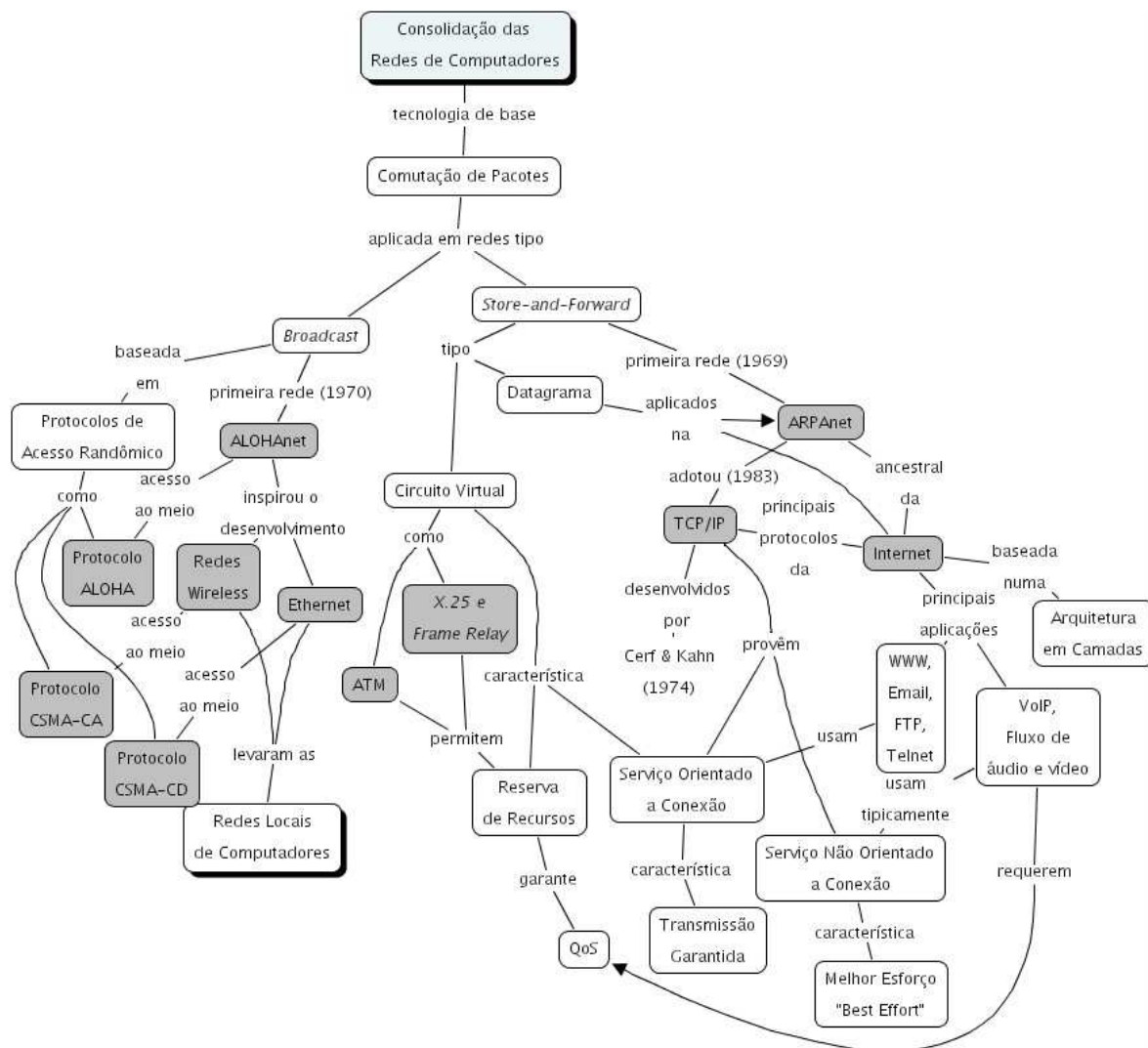


Figura 4.5: Relação entre as primeiras redes de computadores e outras tecnologias que se seguiram.

Entre os conceitos que têm permanecido inalterados podemos destacar a **comutação de pacotes**, principal técnica subjacente às redes de computadores. Os conceitos que permitem diferenciar os vários tipos de redes baseadas na comutação de pacotes, como as redes tipo **armazena-e-reenvia** e as redes de **difusão**, são fundamentais para entender o que diferencia, em termos tecnológicos, as redes conectadas via nós de chaveamento, geralmente característica das redes geograficamente distribuídas, como a Internet, e as redes locais de computadores, como as redes Ethernet e *wireless*. Em termos de redes locais, é nítido o domínio atual das tecnologias Ethernet e *wireless*, sendo que ambas utilizam um **protocolo de acesso randômico** similar, em cuja origem está o protocolo ALOHA. Logo, estes são também conceitos fundamentais da área que permanecem. No que se refere à Internet, uma das características herdadas da sua concepção é ser uma rede de tipo **melhor esforço**, que apresenta limitações referentes à **qualidade de serviço** (QoS) que pode oferecer aos dife-

rentes tipos de aplicações. Em função disso, o conceito de **datagrama**, utilizado na Internet e sua comparação com as redes tipo **circuito virtual**, como a ATM, que permite **reserva de recursos**, são importantes, em particular no sentido de compreender as tendências atuais e futuras de pesquisas e desenvolvimento tecnológico visando o aumento da qualidade de serviço da Internet.

Da mesma forma, é um conceito fundamental da área de redes de computadores a noção de **serviços orientados a conexão** e **serviços não orientados a conexão**. Esses princípios marcam a diferença entre os protocolos de transporte fim-a-fim Internet, o TCP e o UDP. Estes princípios estão também por trás da diferença entre uma rede de datagramas, não orientada a conexão, e uma rede baseada em circuito virtual, orientada a conexão. Também técnicas atuais utilizadas nas redes de computadores, como os novos mecanismos voltados a suprir qualidade de serviço na Internet, são baseados nestes princípios.

4.1.5 O triunfo da Internet

A partir da segunda metade dos anos 1990 temos observado um desenvolvimento surpreendente das redes de computadores em torno da tecnologia Internet, ocasionado pelo surgimento da aplicação WWW (*World Wide Web*), em paralelo e em consonância com a melhoria das tecnologias de rede, em particular da chamada *última milha*, a qual tem disponibilizado acesso em alta velocidade até a residência dos usuários finais.

A partir de pesquisa básica realizada no CERN, tendo como base trabalhos anteriores sobre *hyper-textos*, Berners-Lee (1989) desenvolveu os quatro pilares da aplicação *Web*: as primeiras versões da linguagem HTML (*Hiper-Text Markup Language*), do protocolo HTTP (*Hiper-Text Transfer Protocol*), dos servidores *Web* e dos navegadores (*browsers*), nesta época ainda baseados em uma interface modo texto. O sucesso estrondoso da *Web* veio logo em seguida, com os navegadores baseados em interfaces gráficas, iniciadas com o Mosaic, seguido pelo Netscape, lançado em 1994, e pelo Internet Explorer da Microsoft, a partir de 1996.

As redes de computadores, antes restritas aos ambientes acadêmicos e empresariais, expandiram-se em direção aos ambientes residenciais, impulsionando o surgimento de novas aplicações.

A aplicação WWW revolucionou o acesso às informações remotas, através de novos e atraentes serviços, como administração de contas bancárias, comércio eletrônico, leitura de jornais e acesso a informações sobre uma infinidade de temas. No domínio da comunicação de pessoa-a-pessoa, temos hoje uma generalização do uso do correio eletrônico, além da possibilidade de conversa em tempo real, listas de discussão, etc. Além disso, com a digitalização da informação, toda uma série de conteúdos, como sons, fotos, filmes, podem trafegar

pelas redes de forma transparente, abrindo toda uma gama de novos usos, também chamados de aplicações *multimídia/hipermídia*. Aplicações interativas como vídeo conferência e ensino a distância são exemplos destes novos serviços.

Em termos de tecnologias de interconexão em rede de computadores em uso na atualidade, é inegável a supremacia dos protocolos TCP/IP, base da arquitetura Internet, em detrimento de outras arquiteturas ou tecnologias. Por exemplo, no que diz respeito à tecnologia ATM, observa-se uma retração da perspectiva inicial, com a tendência de ficar confinada aos *backbones* institucionais e regionais. E mais, mesmo neste nicho restrito de mercado, as novas tecnologias de redes de alta velocidade, como as *Switched Gigabit Ethernet*, com velocidade de 1/10 Gbps, estão ocupando espaço, em particular devido à compatibilidade com as redes Ethernet anteriores de 10/100 Mbps.

4.1.6 O futuro: redes sem fio e mobilidade

Os avanços na área de redes de computadores têm sido notáveis, incluindo várias frentes, como o desenvolvimento de novas aplicações (como as aplicações multimídia interativas e distribuição de conteúdo), as redes locais de alta velocidade, os roteadores ultra-rápidos, além de novos desenvolvimentos em **segurança** e **qualidade de serviço** (QoS). Além disso, tem chamado a atenção as redes públicas sem fio, como as redes de acesso conhecidas como *Wi-Fi*⁵ e o acesso a Internet proporcionado pela rede de telefonia móvel, os quais permitem não apenas **mobilidade** mantendo a conexão, como também a possibilidade de novos serviços.

No mundo da telefonia, os últimos anos têm sido profundamente marcados pela telefonia móvel, cujo número de assinantes já ultrapassa os da telefonia fixa. Serviços de acesso a Internet já estão disponíveis na maioria dos aparelhos celulares mais modernos. A extensão destas possibilidade de acesso móvel à Internet a computadores portáteis, como *laptops*, *palmtops*, etc, se coloca, portanto, como próximo passo da evolução tecnológica na área de redes de computadores.

Outra tendência tecnológica é a convergência entre a área de telefonia e a de redes de computadores rumo a um sistema de comunicação digital totalmente suportado pela comutação de pacotes, sobre a arquitetura TCP/IP, mudando a estrutura telefônica hoje baseada na comutação de circuitos.

O mapa conceitual da figura 4.6 ilustra as novas tendências tecnológicas da área de redes de computadores, relacionadas no mapa a partir das tecnologias de rede mostradas na figura 4.5.

⁵Redes públicas de acesso *sem fio Wi-Fi* são normalmente pontos de acesso sem fio à rede Internet, baseadas em geral no padrão IEEE 802-11, disponíveis em locais públicos como aeroportos, cafés, livrarias etc.

mais coerente, foi a que prevaleceu. É o que observamos, por exemplo, no caso do grande sucesso acadêmico do modelo OSI e praticamente nenhuma aceitação no meio industrial. Ou, com a estagnação das redes ATM, consideradas promissoras e altamente eficientes, as quais, acreditava-se, marcariam uma importante “ruptura” tecnológica na área. Entretanto, esta ruptura foi frustrada em função do sucesso da Internet, suportada pelos tradicionais protocolos TCP/IP, com suas aplicações com grande apelo de uso, como a *Web*, que acabaram inviabilizando a migração para a estrutura do ATM. Outro exemplo que pode ser citado diz respeito a substituição do sistema de endereçamento da Internet, visando resolver o problema do esgotamento dos endereços IP⁶. Apesar de praticamente todos os requisitos para a mudança já haverem sido definidos é incerto afirmar que esta mudança ocorrerá. Isto em função da resistência dos usuários e dos novos mecanismos que permitem “economizar” endereços, como o endereçamento sem classes (CIDR - *Classless Interdomain Routing*) e o NAT (*Network Address Translator*).

Assim, no ensino-aprendizagem de redes de computadores, além de discutir com os alunos as tecnologias atualmente em uso, julgamos também importante que sejam discutidos os aspectos históricos de seu desenvolvimento. Isto permite situar a enorme gama de tecnologias que, de uma forma ou de outra, não se consolidaram no momento presente, mas tiveram grande importância no desenvolvimento da área. Bachelard (1996), discutido na seção 2.3, propôs algo semelhante para mostrar as “rupturas” e a característica não linear do desenvolvimento da ciência. Da mesma forma, em nossa área tecnológica, seria interessante mostrar aos alunos o aspecto inventivo, construtivo e não definitivo das tecnologias de rede, mostrar que outros fatores, além dos aspectos meramente técnicos, tiveram influência na conformação das redes atuais, mostrar que as tecnologias hoje dominantes não estão de forma alguma prontas, estando em constante evolução, podendo vir a ser substituídas por outras no futuro.

⁶A partir do início dos anos 1990 o IETF começou a desenvolver um substituto para os conhecidos endereços IP de 32 bits (IPv4) para uma nova versão (IPv6) com 128 bits.

4.2 Organização do conhecimento nos livros-textos de redes de computadores

Em paralelo ao desenvolvimento das redes de computadores, surgiu a necessidade de formação tecnológica específica, a qual ganhou impulso e organização a partir da sistematização dos conhecimentos da área na forma de livros-textos. Os professores passaram a contar com material de apoio para a montagem de cursos, além de utilizá-los como principal material didático no desenvolvimento do ensino. Desta forma, em muitos casos, o formato e a orientação geral dos cursos têm seguido a organização sugerida pelos livros-textos. Portanto, uma análise dos principais livros-textos de redes de computadores é um ponto de partida importante para a proposição de alternativas visando ao aperfeiçoamento do ensino-aprendizagem desta matéria.

4.2.1 Os primeiros livros sobre redes de computadores: uma *abordagem analítica*

Os primeiros a compilar o conjunto de conhecimentos existentes sobre redes de computadores na forma de livros-textos foram Kleinrock (1976) e Schwartz (1977). O problema central em discussão nesses livros não era a descrição das diferentes tecnologias de redes de computadores, mas a análise matemática dos problemas envolvidos em cada uma delas.

O livro de Kleinrock (1976), lançado como sequência a um primeiro volume sobre teoria de filas, tinha como foco problemas relacionados às redes de computadores. O objetivo era familiarizar o leitor com uma visão operacional das redes de computadores e discutir as abordagens matemáticas para análise e projeto de redes. Na época, já se antevia um grande desenvolvimento das redes de computadores e se vislumbravam aplicações que hoje são corriqueiras na Internet. Além de tratar dos princípios e bases para as redes de computadores, como a comutação de pacotes, os problemas centrais tratados no livro giravam em torno da questão do compartilhamento de recursos, com a teoria de filas sendo utilizada para o estudo da performance a partir da análise de parâmetros como o atraso e a vazão.

Schwartz (1977) dedica seu livro inteiramente ao estudo das redes de computadores, procurando apresentar uma abordagem sistemática para análise e projeto aplicável à maioria das redes existentes. O autor inicia seu livro diferenciando as redes baseadas em comutação de circuitos das redes baseadas em comutação de pacotes, sendo estas últimas o objeto de discussão do livro. Na sua abordagem, são consideradas questões como topologia, vazão das linhas, procedimentos de roteamento, controle de fluxo, esquemas de tratamento de mensagens, etc. O estudo do armazenamento e do atraso em filas de mensagens, com sua

implicação no tempo de resposta da comunicação, está entre os principais problemas considerados no livro. Como exemplos práticos, são apresentadas as características operacionais de quatro redes, dentre elas a ARPAnet, que foi sem dúvida a rede que despertou maior interesse, tendo motivado diversas pesquisas e exercido grande influência em ambos os livros aqui citados. Em particular, nestes primeiros livros a terminologia usada na ARPAnet foi mantida, consolidando termos que são utilizados até hoje, como *host*, em referência a cada equipamento terminal conectado a rede.

Com o grande desenvolvimento das redes de computadores, a partir dos anos 1980, este tipo de *abordagem analítica* das redes de computadores perdeu terreno, prevalecendo abordagens mais descritivas. Isto foi influenciado, em parte, pelo crescimento do número de usuários, aumentando a demanda por conhecimentos mais descritivos. Nos primeiros tempos, o interesse pelas redes de computadores estava mais concentrado junto aos pesquisadores e à comunidade acadêmica. Não obstante essas tendências, autores como Bertsekas e Gallager (1992) mantêm, ainda hoje, em seu livro a utilização de ferramentas analíticas, utilizadas no sentido de aprofundar e melhor precisar o entendimento de conceitos envolvidos nas redes de computadores. Os conceitos e princípios são primeiramente descritos de maneira informal. Depois é realizada uma descrição cuidadosa utilizando ferramentas de modelagem, seguida de análise matemática. Este tipo de abordagem tem, ainda hoje, adeptos em muitas universidades para os quais este livro continua sendo uma das referências mais utilizadas, conforme aponta pesquisa mostrada no apêndice B, seção B.5.

4.2.2 Organização em *camadas* dos livros-textos de redes de computadores

Inspirado no modelo OSI, Tanenbaum (1981) foi um dos primeiros autores a apresentar em um livro-texto os conteúdos de redes de computadores organizados em *camadas*, o que veio a contribuir enormemente para a sistematização dos conhecimentos da área.

Na organização de Tanenbaum (1981), detalhada no apêndice B, seção B.1, cada capítulo do livro agrupava conhecimentos referentes a uma das sete camadas do modelo OSI, as quais eram apresentadas iniciando-se pela camada inferior da arquitetura, a camada física, e depois subindo-se pelas demais camadas, até a camada aplicação. Chamaremos neste trabalho esta abordagem de *bottom-up* ou *ascendente*.

A *abordagem ascendente*, baseada no modelo OSI, se seguiu na segunda edição de Tanenbaum (1988), a qual pode ser considerada uma obra completamente nova, em função dos novos desenvolvimentos ocorridos no período. Inicia-se com o estudo dos meios físicos, transmissão analógica e digital e o sistema telefônico. Depois estudam-se os protocolos de acesso ao meio e as redes locais, incluindo todo o conjunto de protocolos do padrão IEEE

802. No capítulo referente à camada enlace estudam-se os algoritmos para permitir uma transmissão confiável sobre linhas não confiáveis. Relativamente à camada rede, são estudados algoritmos de roteamento, controle de congestão e interoperabilidade em rede. No capítulo referente à camada transporte, são estudados o gerenciamento de conexão e protocolos fim-a-fim. As três camadas superiores são estudadas nos três capítulos finais. No que se refere à camada aplicação, são abordadas aplicações em crescente utilização, como o correio eletrônico, a transferência de arquivos, terminais virtuais e serviços de diretório.

Outra tendência marcante de Tanenbaum (1988), em relação às obras anteriormente publicadas, se caracteriza pela utilização de uma abordagem mais descritiva das redes de computadores, diferentemente da ênfase anterior na análise matemática. Esta abordagem mais descritiva tem predominado nas obras publicadas após este período, em particular, devido ao aumento significativo do interesse dos usuários, das mais variadas áreas do conhecimento, pelas redes de computadores.

Stallings (2000), outro autor com longa tradição de obras na área de redes, também segue uma *abordagem ascendente*, descritiva, e organizada em camadas segundo o modelo OSI. Procura realizar uma ampla cobertura dos diversos assuntos relacionados às redes de computadores, incluindo, a cada nova edição, novos tópicos e novas tecnologias.

Autores brasileiros também publicaram livros bastante significativos na década de 1980, como Tarouco (1986) e Moura et al. (1986). Ambos descrevem os conhecimentos de acordo com as camadas do modelo OSI, havendo ainda em Moura et al. (1986) preocupação com o problema de avaliação de desempenho das redes, o qual envolve análise matemática das tecnologias de redes de computadores. Já na década de 1990, Soares et al. (1995) publicaram um texto bastante abrangente sobre redes de computadores, muito utilizado, ainda hoje, em universidades brasileiras. Este livro está organizado segundo as camadas do modelo OSI, seguindo a *abordagem ascendente*, na qual são apresentados em detalhes todas as tecnologias de redes locais do padrão IEEE802, os protocolos Internet, bem como a tecnologia ATM.

4.2.3 O foco na Internet

Com o crescimento da Internet, cada vez mais o foco de atenção dos livros-textos de redes está centrado nesta tecnologia. Por exemplo, já a partir da terceira edição, Tanenbaum (1996) mudou a forma de organização do seu livro, que tinha como suporte o modelo OSI de sete camadas, passando a utilizar um modelo com cinco camadas principais, mais próximo do modelo Internet, a saber: camada física, camada enlace e sub-camada de acesso ao meio, camada rede, camada transporte e camada aplicação (ver figura 4.2, página 61). Esta terceira edição de Tanenbaum (1996) também incluiu a discussão da tecnologia ATM.

Em livros mais recentes, como Tanenbaum (2003), Kurose e Ross (2000, 2002, 2004) e Peterson e Davie (2000, 2003), cuja organização dos conteúdos é apresentada no apêndice B, seções B.2, B.3 e B.4, respectivamente, percebe-se nitidamente a ênfase colocada na Internet. Também pode ser destacada a atenção dedicada às tecnologias que proporcionam acesso à Internet, como as redes locais de computadores, largamente utilizadas em ambientes públicos ou corporativos, e as tecnologias de acesso doméstico em alta velocidade, referidas como *última milha*.

No que se refere às aplicações Internet, todos os livros recentes discutem a aplicação *Web* e o correio eletrônico, sem dúvida as mais utilizadas na Internet, o DNS, e as novas aplicações multimídia, como voz sobre IP e aplicações envolvendo fluxo de áudio e vídeo em tempo real.

Além destas, toda uma nova gama de aplicações que não seguem o paradigma *cliente-servidor*, chamadas de aplicações *par-a-par* (ou *peer-to-peer*) começam também a ser abordadas. Estas aplicações ganharam popularidade com a distribuição e troca de músicas na Internet, as quais permitem que computadores de usuários comuns possam assumir o papel de servidores de aplicações.

No que se refere aos protocolos das camadas transporte e rede, toda a discussão está centrada sobre protocolos da Internet TCP/IP, abordados juntamente com os conceitos de base que eles utilizam, como os serviços orientados a conexão e não orientados a conexão, os princípios da transferência garantida, os algoritmos de roteamento e o controle de fluxo e congestionamento.

Para a camada de enlace, são apresentados conceitos de base, como as técnicas de detecção e correção de erros e os princípios dos protocolos de múltiplo acesso. No que se refere às redes locais, observa-se o amplo destaque dado às redes locais Ethernet (IEEE802-3) e sem fio (*wireless*) (IEEE802-11), em franca utilização, enquanto outras tecnologias do padrão IEEE802, que eram apresentadas em edições anteriores dos livros de redes de computadores, não são abordadas.

Sobre as redes ATM, observa-se que muito pouco é reservado à discussão desta tecnologia nos livros recentes. Em geral, o ATM aparece como exemplo de uma rede de pacotes, baseada em circuito virtual, sobre a qual se pode também rodar os protocolos da Internet.

Com a ênfase na Internet, outro autor significativo da área de redes de computadores, que não pode deixar de ser citado, é Comer, o qual tem seus livros inteiramente dedicados à interoperabilidade a partir dos protocolos TCP/IP. Apesar de haver documentos padrões para o TCP/IP na época da publicação da primeira edição de *Internetworking with TCP/IP* em 1987, seus livros fazem uma excelente e didática descrição do conjunto de protocolos da Internet, descrevendo como eles funcionam (Comer, 2000), como codificá-los (Comer e Stevens, 1999) e também como implementar aplicações sobre eles (Comer e Stevens, 2001).

4.2.4 Atualizações na bibliografia de redes de computadores

Os novos desenvolvimentos das redes de computadores em direção às redes sem fio e mobilidade, comentados na seção 4.1.6, já têm reflexos, por exemplo, em duas novas edições de autores consagrados da área, como a quarta edição de Tanenbaum (2003) e a terceira edição de Kurose e Ross (2004).

Tanenbaum (2003) dá grande destaque às redes locais sem fio (definidas no padrão IEEE802-11) e às novíssimas tecnologias *Bluetooth* (padronizadas como IEEE802-15), utilizadas para interconexão sem fio de periféricos no âmbito de uma estação de trabalho e redes metropolitanas sem fio (conhecidas como *wireless* MAN e padronizadas como IEEE802-16 em 2002), reservando um capítulo do livro para cada uma delas. Veja detalhes desta obra no apêndice B, seção B.2.

Na terceira edição, Kurose e Ross (2004) acrescentaram um capítulo especial, totalmente dedicado às redes sem fio e à mobilidade. Segundo os autores, do ponto de vista da interconexão em rede, as mudanças proporcionadas pelas redes sem fio são enormes, em particular, no que se refere às camadas enlace e rede. O capítulo inicia com uma discussão sobre os usuários móveis e os enlaces e redes sem fio. Os autores ressaltam as diferenças entre a comunicação sem fio, oferecida pelos enlaces de comunicação, e a mobilidade que ela proporciona. Para exemplificar, muitos enlaces de comunicação são sem fio, contudo, não têm a característica de mobilidade ou têm mobilidade limitada (por exemplo, quando um usuário usa um *laptop* em casa, depois desliga-o e reconecta-o à rede sem fio do local de trabalho). Já a mobilidade refere-se a usuários móveis, por exemplo, dirigindo em uma auto-estrada e mantendo uma conexão de voz sobre IP além de múltiplas conexões TCP. Neste último caso, são grandes as mudanças em relação às redes atuais. São também discutidos no livro assuntos como: o protocolo de acesso ao meio CDMA (*Code Division Multiple Access*), muito usado na telefonia celular e em redes sem fio; generalidades sobre o padrão para redes locais sem fio IEEE802-11 e *Bluetooth*; aspectos gerais do acesso à Internet via telefonia celular; a questão da mobilidade e as mudanças que ela provoca no processo de roteamento e manutenção de conexões.

Como conclusão, a partir da análise dos livros-textos publicados sobre redes de computadores, podemos dizer que, de certa forma, os conteúdos abordados refletem a evolução tecnológica da área, bem como enfatizam as tecnologias dominantes em cada período do desenvolvimento das redes. Nos primeiros tempos, vemos a tentativa de afirmação das tecnologias de redes, como a comutação de pacotes, e a preocupação com a análise matemática. Num segundo momento, rumo-se a uma abordagem mais descritiva das redes, com a organização dos conhecimentos em camadas, influenciadas pelo modelo OSI, a princípio sem uma preocupação de olhá-las com respeito às aplicações fim. Mais recentemente, observamos a forte influência da Internet e o grande destaque dado às aplicações, sendo o modelo

de camadas apresentado com vistas ao seu uso.

4.2.5 Organização e forma de abordagem dos conteúdos nos livros-textos

Quanto à organização dos livros-textos de redes de computadores, a forma mais comum, encontrada na maioria das obras, consiste de capítulos organizados segundo as camadas da arquitetura de redes de computadores, como as sete camadas do modelo OSI ou as quatro/cinco camadas do modelo Internet. Nessa organização, cada capítulo contém tópicos e sub-tópicos detalhando os conceitos e tecnologias mais relacionados à camada em questão. Entretanto, nem todos os autores utilizam, de forma estrita, este tipo de organização.

Na sequência, apresentamos e comentamos três abordagens distintas para apresentar os conhecimentos de redes de computadores, utilizadas por autores conhecidos da área. Como primeiro caso, tecemos alguns comentários sobre a *abordagem ascendente*, citada na subseção 4.2.2, utilizada por vários autores. Como segunda abordagem, apresentamos a *abordagem top-down* ou *descendente*, introduzida por Kurose e Ross (2000), na qual as camadas da arquitetura de rede são apresentadas iniciando pela camada superior, a camada aplicação, e descendo até a camada física. Como terceira forma, apresentamos a *abordagem de sistemas*, de Peterson e Davie (2000), na qual os conhecimentos são apresentados de forma independente das camadas. Uma apresentação mais detalhada da forma de organização dos conteúdos nestas três obras pode ser encontrada no apêndice B.

4.2.5.1 Abordagem bottom-up ou ascendente

Na *abordagem ascendente*, os conhecimentos de redes de computadores são apresentados iniciando pela camada inferior da arquitetura, a camada física, e depois subindo pelas demais camadas até a camada aplicação. Esta abordagem, introduzida por Tanenbaum (1981) (ver apêndice B, seção B.1), foi majoritária até o final dos anos noventa. Continua sendo utilizada por Tanenbaum (1996, 2003) (apêndice B.2), que, a partir da terceira edição, utiliza como base o modelo Internet, e por autores como Stallings (2000) e Soares et al. (1995), que utilizam o modelo OSI.

A *abordagem ascendente* influenciou largamente os professores de redes de computadores durante os anos 1980 e 1990. Normalmente, os cursos eram fortemente baseados sobre os conteúdos, escolhidos com base no elenco de conceitos tecnológicos. Procurava-se a maior cobertura possível dos diferentes conteúdos, com cada tópico ou protocolo sendo visto como um componente individual e estudado em profundidade.

Por trás desta forma de abordar os conhecimentos estava a idéia de chegar ao “todo” das redes de computadores a partir de suas “partes”. Imaginava-se dar aos alunos a maior cobertura possível dos “conceitos tecnológicos”, para que depois pudessem integrá-los e utilizá-los para entender qualquer das tecnologias de rede com que viessem a se deparar. Frequentemente, muito pouca ênfase era reservada às “aplicações fim”, que, muitas vezes, não eram mesmo tratadas, seja por falta de tempo nos cursos, já que eram deixadas para o final, seja porque não havia interesse em abordá-las.

Ademais, a fragmentação dos conhecimentos em camadas pode, em alguns casos, levar os cursos de redes de computadores a uma discussão tediosa de conceitos, padrões e técnicas, muitas vezes vistos de forma dissociada, com cada conceito sendo tratado como um componente individual, detalhado no sentido de possibilitar aos alunos o entendimento posterior de uma dada tecnologia.

Face à evolução constante das redes de computadores uma abordagem de ensino baseada numa ampla cobertura de conteúdos, trabalhados em profundidade, não é a mais apropriada. Diversos protocolos e padrões para redes de computadores não têm aplicações práticas disponíveis ou acessíveis, o que torna o estudo bastante monótono e as vezes até desinteressante para os alunos. Toda a expectativa de iniciar um curso de redes de computadores é sufocada no momento em que se mergulha no estudo de padrões e especificidades muitas vezes longe de serem vislumbradas no nível aplicativo.

Como se observa em (Tanenbaum, 2003) (apêndice B, seção B.2), e em outros livros recentes, os conteúdos estão mais voltados às tecnologias em uso, como a Internet, ou outras consideradas emergentes. Todavia, abordar em detalhes tecnologias ainda muito novas, como faz Tanenbaum (2003) acerca das redes sem fio *Bluetooth* (IEEE802-15) e *wireless* MAN (IEEE802-16), pode ser uma aposta arriscada. Veja-se por exemplo o caso das redes ATM cujas pesquisas apontavam primeiro para uma integração com a infra-estrutura da Internet, e num futuro próximo, para um possível domínio desta nova tecnologia, o que não acabou acontecendo.

Talvez fosse mais interessante tentar uma abordagem conceitual, tomando como ponto de partida tecnologias consolidadas e com ampla utilização, como a Internet, e procurar desenvolver, progressivamente, os conceitos fundamentais da área, mostrando como estes conceitos estão também presentes nas novas tecnologias.

4.2.5.2 Abordagem top-down ou descendente de Kurose e Ross (2000, 2002, 2004)

Kurose e Ross (2000) (ver apêndice B, seção B.3) introduziram uma outra perspectiva para o estudo das redes de computadores a partir da adoção de uma nova abordagem para as camadas da arquitetura de redes, por eles chamada de *abordagem top-down*. Inicia-se o

estudo a partir de uma visão geral das redes e das aplicações, trabalhando as camadas de protocolos de forma descendente, começando pela camada aplicação e depois descendo pela pilha de protocolos.

Dentro da bibliografia atual de redes de computadores, a abordagem introduzida por Kurose e Ross (2000) é realmente inovadora, invertendo a forma tradicional de organização dos conhecimentos, iniciando pela camada aplicação e tendo como foco principal a Internet. De acordo com os autores, esta forma de abordar os conhecimentos traz vários benefícios. Primeiro, coloca ênfase nas aplicações, que são uma das áreas que mais crescem nas redes de computadores. Segundo, é um forte fator de motivação, pois os estudantes iniciam o estudo a partir das aplicações que utilizam no seu dia-a-dia. E ainda possibilita aos instrutores introduzir o desenvolvimento de aplicações num primeiro estágio, permitindo aos estudantes compreender não somente como as aplicações mais populares funcionam, mas também como é fácil criar as próprias aplicações.

O livro-texto de Kurose e Ross (2000), e a *abordagem descendente*, tem tido cada vez mais adeptos (como podemos ver na pesquisa apresentada no apêndice B, seção B.5). Além disto, há uma preocupação dos autores em acompanhar o forte desenvolvimento da área de redes de computadores, com atualizações constantes de suas edições, como Kurose e Ross (2002, 2004), introduzindo conhecimentos como as redes par-a-par, redes sem fio e mobilidade.

Iniciar o estudo a partir do uso das aplicações e de uma visão ampla das redes de computadores, aumenta a motivação dos alunos e ainda permite explicitar o significado dos conhecimentos que serão aprendidos. Sem dúvida, esta abordagem está mais próxima das idéias defendidas por Freire (1981) sobre a *abordagem temática*, discutida na seção 2.6, que a forma de abordar os conhecimentos de redes de computadores da *abordagem ascendente*.

Todavia, apesar do foco na Internet e da *abordagem descendente*, Kurose e Ross (2000) mantêm os conteúdos compartimentados em camadas, abordando-os em profundidade à medida que vão aparecendo. A exceção é o primeiro capítulo, onde é feita uma excelente descrição geral das redes de computadores e da Internet, incluindo uma introdução a muitos conceitos chaves e terminologias. Como sugerem os próprios autores, este capítulo pode até ser utilizado como base para um curso introdutório de redes de computadores.

4.2.5.3 Abordagem de Sistemas de Peterson e Davie (2000, 2003)

A subdivisão dos conteúdos de redes em camadas trouxe uma grande contribuição para a sistematização dos conhecimentos da área, todavia nem todos os autores seguem estritamente esta abordagem. Peterson e Davie (2000) organizam a discussão dos conceitos de redes de

computadores de um modo independente da arquitetura em camadas, desenvolvendo uma perspectiva chamada, pelos autores, de *abordagem de sistemas* (ver apêndice B, seção B.4).

Parece óbvio organizar um livro sobre redes em torno das camadas do modelo OSI. Contudo, há um perigo em fazer isso, pois o modelo OSI não é realmente um sucesso na organização dos conceitos básicos das redes. Requisitos básicos, como confiabilidade, controle de fluxo ou segurança, podem ser tratados pela maior parte das camadas OSI (se não todas). Este fato tem ocasionado muita confusão na tentativa de entender o modelo de referência. (David Clark, prefácio da primeira edição de (Peterson e Davie, 2003))

De acordo com Peterson e Davie (2000), “para uma área que é tão dinâmica e mutável quanto as redes de computadores, a coisa mais importante que um livro-texto pode oferecer é a perspectiva de distinguir entre o que é importante e o que não é, e entre o que é durável e o que é superficial”. Essa afirmação vem ao encontro da importância que procuramos dedicar neste trabalho aos conceitos fundamentais de redes de computadores, visto que poderão servir de base para o aprendizado de novas tecnologias ou protocolos no futuro.

O livro procura iniciar com os princípios fundamentais e seguir as idéias que levaram às redes atuais, numa tentativa de responder “por que” as redes são como são. Segundo os autores, uma vez que se entendem os princípios básicos, qualquer nova tecnologia ou protocolo com o qual os alunos se deparem será mais fácil de ser aprendida.

Os autores utilizam uma abordagem que procura desenvolver o conhecimento sobre redes de computadores “a partir do chão”. Iniciam com os requisitos para montar uma rede. Depois tratam do problema de conectar diretamente máquinas entre si, chegando nas redes locais. Como nem todas as redes são diretamente conectadas, tratam em seguida da interconexão de redes. Na sequência, vem a discussão dos protocolos fim-a-fim, responsáveis por fazer com que os processos de aplicação se comuniquem, até chegar a discussão de problemas como controle de congestionamento, alocação de recursos, tratamento dos dados fim-a-fim, segurança e aplicações.

Para explicar como os protocolos funcionam, são tomados como exemplos protocolos em uso, em particular o conjunto de protocolos TCP/IP, mostrando como as redes funcionam na prática.

Como nos níveis mais baixos as redes são construídas por hardware, em geral comprados de fabricantes ou prestadores de serviços de comunicação, os autores enfatizam aspectos da implementação do software de rede. Desta forma, mostram como a rede pode prover novos serviços e se adaptar a novas circunstâncias.

Para lidar com a complexidade das redes, construídas a partir de muitos componentes, destaca-se o estudo do comportamento fim-a-fim, mostrando como cada peça se relaciona com as demais, evitando o estudo fragmentado de cada componente individual.

Pensando em termos de uma arquitetura em camadas, observa-se que os conhecimentos de redes de computadores vão sendo abordados também de forma ascendente. Contudo, a idéia de construção das redes a partir do chão, dá aos conhecimentos em discussão um significado que, no nosso entender, auxilia na motivação do aprendizado. Poderíamos ver esta forma de abordar os conhecimentos sobre redes de computadores como dual da *abordagem descendente* de Kurose e Ross (2000), está última, dando significado aos conhecimentos a partir das aplicações e de uma visão geral das redes.

4.2.6 Os livros-textos e a atividade docente

Como observaram Delizoicov et al. (2003), analisando o ensino de ciências, os livros-textos têm sido utilizados, muitas vezes, como único material didático pelos professores. Isso não é diferente na área de redes de computadores, tanto no ensino profissional como universitário. É certo que os livros-textos minimizam a necessidade de o professor decidir sobre a prática pedagógica e produzir material didático. Em certa medida, isto é útil, já que produzir material didático demanda tempo, infra-estrutura e acesso a informações, além do que pode haver duplicação de esforços, já que diferentes professores encontram situações que exigem respostas semelhantes.

Todavia, ainda segundo os autores supra-citados, o professor é, sobretudo, um organizador de uma atividade. Quanto maior for seu acesso a alternativas de materiais, maior será a oportunidade de encontrar os mais adequados, assumindo ele a responsabilidade pelas escolhas e adaptações, ou criando novas alternativas se julgar necessário. Desta forma, preserva-se a responsabilidade e o aspecto criativo e prazeroso da atividade.

No caso das redes de computadores, é importante destacar que os livros-textos, além de serem utilizados como principal material didático pelos professores, têm tido uma influência direta no formato dos cursos na área. Independentemente da forma de organização adotada pelos livros-textos, como as três abordagens comentadas na seção anterior, o que se observa de uma maneira geral é que os mesmos estão organizados segundo sequências rígidas de informações e atividades. Isto impõe, para os professores que utilizam e seguem a abordagem proposta nesses livros, um ritmo uniforme e linear no desenvolvimento dos conteúdos, em que cada tópico é discutido em profundidade a medida que for aparecendo.

Acompanhando o trabalho de alguns professores⁷ com alguns dos livros-textos há pouco citados (Kurose e Ross, 2000; Peterson e Davie, 2000; Tanenbaum, 1996), pode-se dizer que a maioria deles procura seguir a abordagem e organização proposta pelo livro que escolheram. Em geral, as atividades didáticas consistem de aulas expositivas, complementadas com

⁷Este acompanhamento do trabalho dos professores foi realizado a partir de visita aos seus sítios Internet, em paralelo à pesquisa sobre os livros-textos apresentada no apêndice B, seção B.5.

exercícios e atividades de laboratório, seguida de provas de conhecimento com caráter de avaliação. Em função da própria “rigidez” dos livros-textos, outras alternativas pedagógicas dependem, sobretudo, da vontade e da ação do professor em fazer diferente. Neste sentido, algumas iniciativas dos professores merecem ser citadas, como: desenvolvimento de projetos, em particular relativos à implementação de *software* de rede; trabalhos de casa, envolvendo problemas e pesquisas sobre temas específicos, com ênfase no trabalho em grupo; leitura de materiais e documentos, seguida de discussão sobre os temas; desenvolvimento de mini-artigos sobre atividades de pesquisa sobre temas específicos; desenvolvimento de atividades de laboratório, visando observar e analisar funcionalidades das redes de computadores.

A organização em capítulos, tópicos e sub-tópicos normalmente utilizada nos livros-textos, impõe, na maioria das vezes, um desenvolvimento sequencial dos conteúdos. Torna-se difícil, com este tipo de organização, uma abordagem dos conhecimentos que vá do geral ao específico, como sugere a *aprendizagem significativa*. Da mesma forma, falta também na organização sequencial dos livros-textos algo que permita mostrar, explicitamente, como cada tópico em estudo se relaciona com os demais para dar forma ao todo. Assim, na seção 4.4, mostramos uma forma alternativa de organização dos conhecimentos de redes de computadores, fundamentada na aprendizagem significativa e utilizando *mapas conceituais* para modelar o conhecimento.

Outra questão que interfere nos cursos e nos livros-textos é a forte dinâmica da área de redes de computadores, em particular nos anos recentes, caracterizada por uma evolução constante dos conceitos e tecnologias que lhes dão suporte. Sobre esta questão, temos observado um esforço dos autores para manter seus livros-textos atualizados. Se Tanenbaum (1981, 1988, 1996, 2003) vinha atualizando seus livros a cada sete/oito anos, nos anos recentes, temos observado um aumento na frequência destas atualizações, como fazem Peterson e Davie (2000, 2003) ou Kurose e Ross (2000, 2002, 2004).

Estas alterações frequentes impõem algumas “dificuldades” ao emprego dos livros-textos como principal material didático nos cursos de redes de computadores: Nossas instituições públicas de ensino têm dificuldade em manter atualizado seu acervo bibliográfico a disposição dos alunos; boa parte dos nossos estudantes têm dificuldade para adquirir livros de ponta, em geral a custo elevado; decorre algum tempo desde o lançamento de uma publicação internacional até sua tradução em língua portuguesa.

Essas dificuldades apontadas no parágrafo anterior são, em parte, contornadas a partir de materiais encontrados na *Web*. Inegavelmente, a *Web* é uma excelente fonte de informações, em particular para área de redes de computadores. Entretanto, muitas vezes, sente-se falta de uma estruturação para as diferentes informações, de forma que se possa perceber, claramente, com que domínios de conhecimentos, dentro da área pesquisada, estão relacionadas.

Desta forma, é importante o professor dispor de materiais alternativos para serem utilizados durante os cursos. Conforme veremos no capítulo 5, outro objetivo de nosso trabalho é buscar meios para oferecer aos professores, materiais didáticos complementares aos livros-textos, aproveitando a rede Internet, tanto para fazer face às constantes mudanças tecnológicas, quanto no sentido de poder partilhar as experiências de outros professores na condução do processo de ensino-aprendizagem. Além disto, como vimos no capítulo 3, com o suporte de navegação oferecido pelos mapas conceituais, podem-se estender as potencialidades das tradicionais páginas de hiper-texto na organização do conhecimento na *Web*.

Como forma de contribuir nessa direção, na próxima seção apresentamos uma nova maneira de selecionar os conhecimentos de redes de computadores, inspirada em uma *abordagem temática*, alternativa à forma utilizada na maioria dos livros-textos. A resultante esperada desta abordagem não é o rol de conhecimentos em si, o qual, provavelmente, não será muito diferente daquele encontrado nos livros-textos mais recentes. O que se deseja construir é um arcabouço conceitual, que seja suficientemente flexível para ser constantemente adaptado e atualizado em função da dinâmica das redes de computadores e que permita justificar, de forma evidente, os conhecimentos a serem ensinados ou aprendidos.

4.3 **A abordagem temática como critério para a demarcação e seleção dos conhecimentos de redes de computadores**

Na elaboração de qualquer programa voltado à formação tecnológica ou universitária é necessário selecionar e justificar, de maneira rigorosa, os conteúdos que o compõem, assim como, definir o grau de detalhamento a ser alcançado em cada tema e sua programação no tempo. Nesta seção, apresentamos algumas orientações para realizar a seleção dos conhecimentos que comporão o programa de cursos na área de redes de computadores. Para este fim, utilizaremos uma *abordagem temática*, inspirada nas idéias de Freire (1981) e em trabalhos correlatos aplicados à educação científica e tecnológica.

A elaboração da programação a ser desenvolvida durante o curso será discutida na próxima seção, em que utilizaremos como apoio o modelo da *aprendizagem significativa* e os *mapas conceituais*.

A *abordagem temática* proporciona uma nova maneira de selecionar os conhecimentos que comporão os programas. Normalmente, os programas são construídos tendo como ponto de partida o elenco de conteúdos tecnológicos consagrados da área. Esta nova abordagem permite justificar e dar um significado explícito aos conhecimentos que serão trabalhados no processo educacional, os quais são escolhidos a partir de *temas significativos* que façam parte do meio cultural dos alunos, aumentando a motivação para a aprendizagem, além de proporcionar uma abertura para a discussão de temas mais amplos, como os relacionados ao balanço entre tecnologia e sociedade.

Na escolha dos temas significativos a serem explorados na educação tecnológica, como comentado anteriormente no capítulo 2, dois critérios devem ser considerados: um diz respeito ao “fascínio” exercido pelas novas tecnologias; o outro concerne à necessidade de discutir o problema do balanço “benefício-malefício da produção tecnológica”, como sugerem também os estudiosos de Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS).

No nosso campo de interesse, que é o ensino-aprendizagem de redes de computadores de uma forma geral, com a ampla penetração da Internet em todos os domínios da sociedade contemporânea, consideramos que a Internet e as aplicações de rede podem ser tomadas como temas significativos gerais, em torno dos quais o ensino-aprendizagem de redes de computadores poderia ser desenvolvido. A Internet exerce um forte “fascínio” sobre os estudantes, o que, por si só, é um forte fator de motivação. Além disso, também em torno deste tema há também um profícuo campo de debates, relativo aos “benefícios-malefícios” desta tecnologia, que pode ser desenvolvido com os alunos independente do grau de especialização do curso ou do enfoque de formação pretendido.

Sobre esta última questão, o objetivo é despertar uma visão crítica, tanto relativamente

aos aspectos de uso das tecnologias de rede, como em relação às direções apontadas pelos novos desenvolvimentos e tendências tecnológicas. No capítulo 5, apresentamos algumas sugestões de como este tipo de debate pode ser desenvolvido, em paralelo a um curso de redes de computadores.

No sentido de reforçar a motivação dos alunos para a aprendizagem, sugerimos tomar como ponto de partida uma “visão de uso” das redes, a partir de suas aplicações mais corriqueiras. Além da “novidade” e da questão prazerosa de utilizar estas tecnologias, a utilidade das mesmas pode ser destacada, fazendo com que os alunos tirem proveito delas no aprimoramento de suas atividades acadêmicas e profissionais.

No que diz respeito à Internet, ela é também um exemplo clássico de tecnologia de rede de computadores, encerrando diversos conceitos fundamentais da área. Assim, em torno da Internet, um curso completo de redes de computadores poderia ser planejado, focando na sua “visão estrutural”, de modo similar ao que fazem Kurose e Ross (2000), seja este curso voltado ao uso, à aplicação ou ao desenvolvimento de novas tecnologias de rede.

Para a estruturação dos conhecimentos de um curso, deve haver uma articulação entre os temas e os conceitos a serem desenvolvidos. Por exemplo, dentro da temática geral aqui proposta, a partir de aplicações clássicas da Internet, como WWW, email, FTP, VoIP etc, é possível desenvolver a “visão estrutural” da Internet. Tendo por base a arquitetura Internet e seu conjunto de protocolos, o TCP/IP, temos o arcabouço conceitual em torno do qual os conceitos fundamentais de redes de computadores podem ser desenvolvidos. Na próxima seção, detalharemos esta questão, mostrando como organizar o conhecimento a ser trabalhado no curso a partir dos temas.

Pelas proposições de Freire (1981), os temas significativos deveriam ser determinados a partir do diálogo entre educadores e educandos. No nosso caso, estes temas gerais foram pré definidos por nós e servem para justificar o programa geral a ser desenvolvido em um curso de redes de computadores. Nota-se que a Internet e as aplicações de rede são temas emergentes. Até o início dos anos 1990, a Internet era apenas uma entre outras tecnologias de rede, e a aplicação *Web*, uma das mais difundidas nos dias de hoje, não existia. Contudo, esse programa poderá ser estendido, ou complementado, a partir da inclusão de outros temas, associados a outras tecnologias ou aplicações em uso, discutindo-se suas especificidades, bem como, sua relação com as demais tecnologias da área. Nesta última situação, os temas escolhidos poderão ser determinados em função dos interesses específicos das pessoas envolvidas no curso em questão.

Por exemplo, para as novas aplicações de rede, como as transações econômicas e as aplicações multimídia, cada vez mais difundidas na Internet, outros conceitos podem ser desdobrados, como por exemplo, a questão da *segurança* e da *qualidade de serviço* nas

redes. Estes temas permitem trazer à tona a discussão dos limites e das possibilidades do uso das redes de computadores em atividades críticas.

Também vinculadas aos temas gerais aqui propostos estão outras tecnologias, como as que proporcionam acesso e infra-estrutura de conexão à Internet. Entre essas, podemos citar as redes locais de computadores, bastante difundidas para prover compartilhamento de recursos e acesso à Internet em ambientes corporativos, as redes de acesso residencial e os *backbones*. Essas tecnologias podem ser discutidas como desdobramentos dos temas gerais propostos, podendo ser detalhadas, em maior ou menor grau, a partir do interesse específico visado no curso em questão.

Outro exemplo de tema significativo, que poderia ser incluído como temática em um curso, é a mobilidade e o acesso sem fio à Internet. Diversas tecnologias proporcionam serviços com estas características, como as redes *Wi-Fi*, as quais disponibilizam acesso sem fio em locais públicos, as redes metropolitanas sem fio (*wireless MAN*), ou o acesso WAP proporcionado pela rede de telefonia móvel.

O mapa conceitual da figura 4.7 ilustra os tópicos discutidos nesta seção, mostrando a Internet e as aplicações de rede (em tom cinza) relacionadas a diversas aplicações e tecnologias de uso corrente, as quais podem ser tomadas como temas significativos para orientar a seleção dos conhecimentos a serem trabalhados em cursos nesta área.

Analisando a figura 4.7, além da “visão de uso” da Internet, proporcionada pelas aplicações, podemos justificar a necessidade do estudo da sua “visão estrutural”, formada pela arquitetura Internet, a qual encerra diversos conceitos fundamentais de redes de computadores, imprescindíveis em qualquer formação nesta área. Além disto, como comentado há pouco, a discussão de outros assuntos ou tecnologias de rede pode se dar a partir de desdobramentos dos temas principais, bem como através da inclusão de uma nova temática significativa em função do interesse das pessoas envolvidas na formação em questão.

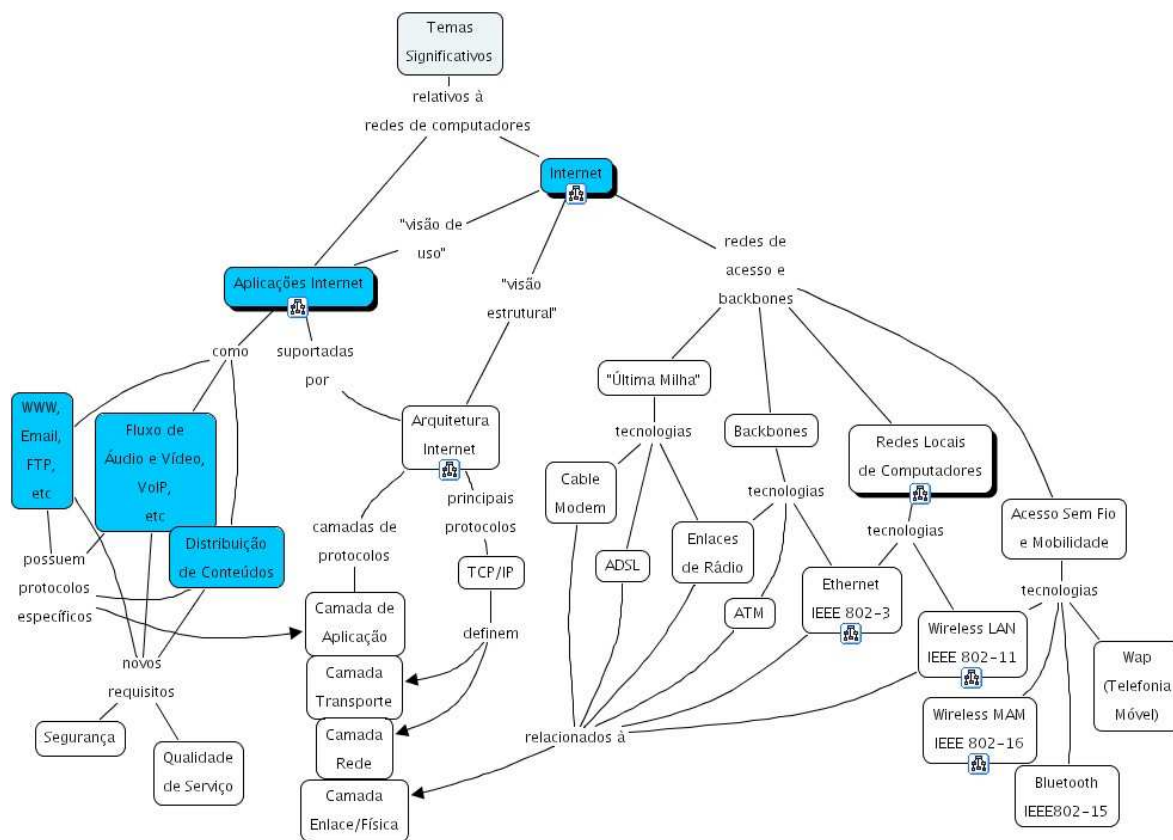


Figura 4.7: Temas significativos para delimitar os conhecimentos de redes de computadores.

Como orientação para uso de uma abordagem temática na área de redes de computadores, tendo como foco a Internet, propomos os seguintes passos:

- Tomar a Internet e as aplicações de rede como temas significativos gerais, em torno dos quais o programa do curso será desenvolvido, fomentando também a discussão do balanço entre tecnologia e sociedade;
- Incluir como um componente do curso uma “visão de uso” das redes, a partir de suas aplicações, visando motivar os alunos para o estudo, bem como mostrar a utilidade das redes no dia-a-dia da sociedade contemporânea;
- A partir dos temas significativos gerais, justificar a necessidade do estudo da “visão estrutural” das redes, formada pela arquitetura Internet, procurando articular os temas e os conceitos da área a serem desenvolvidos durante o curso;
- Em função do interesse visado em um curso específico, incluir outros temas, procurando relacioná-los com os temas gerais, estendendo assim o conjunto de conceitos que serão desenvolvidos no curso.

Uma modelagem por mapas conceituais, como a da figura 4.7, ajuda a relacionar os diferentes temas, bem como, apontar para uma “visão estrutural” que permita chegar a compreensão científica e tecnológica dos temas pelos alunos. Sobre este último ponto, na próxima seção, partindo da Internet, das aplicações de rede e de tecnologias de uso corrente, como as redes de computadores, apresentaremos uma proposta de *organização do conhecimento*, baseada na *aprendizagem significativa*, visando utilizá-la como suporte tanto para a elaboração do programa de cursos na área como para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula.

Para finalizar esta discussão associada aos temas significativos, é importante que seja considerado, durante o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, o uso de um suporte tecnológico real. A própria rede Internet, ou uma rede local de computadores, como uma rede Ethernet, pode servir de “laboratório” para que os conceitos possam ser discutidos e experimentados. Tanto conceitos introdutórios, relacionados ao uso das aplicações, como conceitos mais avançados podem ser discutidos e testados tendo como suporte a rede real. Por exemplo, utilizando aplicações como a transferência de arquivos, é possível ilustrar o funcionamento das aplicações que seguem o modelo cliente-servidor e relacioná-las com outros modelos, como as novas aplicações par-a-par para compartilhamento de arquivos, como os aplicativos utilizados para troca de música e filmes no formato digital. Com o aplicativo `ping`, a qual permite verificar se um *host* remoto está ativo, é possível ilustrar a questão do endereçamento IP na Internet, a correspondência entre nomes e endereços IP, a verificação da possível perda de pacotes, bem como o tempo de atraso médio dos pacotes na comunicação entre dois *hosts*. Com a aplicação `traceroute`, a qual permite traçar uma possível rota utilizada pelos pacotes trocados entre dois *hosts*, a questão do roteamento dos pacotes pode ser analisada, assim como a verificação dos possíveis trechos da rota que estejam ocasionando o maior atraso na comunicação. Num nível mais avançado, utilizando, por exemplo, uma rede local Ethernet como suporte, atividades práticas voltadas a “captura de pacotes” trocados entre máquinas, utilizando aplicativos, como o `tcpdump`, permitem levantar as características dos protocolos em uso, como o encapsulamento dos protocolos, os campos do seu cabeçalho, bem como verificar seu funcionamento.

4.4 Uma *organização do conhecimento* alternativa para redes de computadores

Nesta seção, como alternativa à organização baseada em tópicos e sub-tópicos comum nos livros-textos, apresentamos uma outra forma de *organização do conhecimento* de redes de computadores, a qual foi construída tendo como base os requisitos colocados pela *aprendizagem significativa*, apresentada no capítulo 2, e modelada por *mapas conceituais*, apresentados no capítulo 3.

Como aponta a aprendizagem significativa, na programação das atividades de ensino-aprendizagem, é muito importante começar as exposições apresentando os conceitos mais gerais e abrangentes, diferenciando entre conceitos principais e secundários. Os conceitos mais específicos devem ser apresentados de modo a poder se relacionar com os mais gerais. Além disso, os alunos devem possuir conhecimentos prévios que sirvam de âncora aos novos conhecimentos. Em alguns casos, será necessário desenvolver com alunos esta base de conhecimentos. Desta forma, é bastante importante a ordem de apresentação dos novos conhecimentos, já que, para estes serem adquiridos, os alunos devem possuir previamente os conceitos de base necessários. Neste sentido, um dos requisitos da aprendizagem significativa é a determinação da estrutura conceitual da matéria, organizando os conhecimentos hierarquicamente.

Partindo da proposta temática apresentada na seção anterior, para nossa área de interesse, escolhemos como *temas significativos* a Internet, as aplicações de rede e as redes locais de computadores. Estes são apenas uma parte do conjunto de temas apresentados anteriormente na figura 4.7. Entretanto, outros temas, não incluídos no sub-conjunto escolhido poderão ser acrescentados, caso se deseje estender o programa proposto.

Para se chegar a estrutura conceitual da matéria, o próximo passo é determinar uma estrutura de conceitos que proporcione uma compreensão geral dos temas escolhidos. Para estruturar estes conceitos, utilizaremos mapas conceituais, construindo uma *organização do conhecimento* alternativa, que poderá ser utilizada como apoio para a elaboração da programação de cursos na área. A partir dessa organização, é possível explicitar, de maneira hierárquica, os conhecimentos que comporão o programa dos cursos. Além disto, essa forma de organização poderá também servir de arcabouço para auxiliar no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, dando suporte a um seqüenciamento “ótimo” dos conteúdos.

Em função das escolhas realizadas, podemos destacar quatro grandes unidades temáticas que comporão a *organização do conhecimento* de redes de computadores:

- A Internet, vista tanto como rede mundial de computadores rodando aplicações de uso

corrente, quanto como exemplo de rede de comutação de pacotes interligando, via nós de chaveamento, computadores e outros dispositivos ao redor do mundo;

- As aplicações de rede, razão de ser das redes de computadores, proporcionando novas formas de comunicação e acesso a informações em diferentes mídias, fomentando mudanças nos modos de vida da sociedade contemporânea;
- A arquitetura Internet, que forma o esqueleto conceitual e tecnológico da Internet, encerrando diversos conceitos fundamentais da área de redes de computadores;
- As redes locais de computadores, bastante difundidas em ambientes corporativos como peça chave para o compartilhamento de recursos e provimento de acesso à Internet, encerrando também outros conceitos fundamentais da área.

A partir destas unidades temáticas e tendo como ponto de partida a Internet, cada tema significativo ou tecnologia foi detalhado e modelado por mapas conceituais, formando uma hierarquia de mapas, mostrando a estruturação dos conceitos fundamentais subjacentes aos mesmos.

Nas próximas sub-seções apresentamos alguns dos mapas conceituais que foram construídos para detalhar os temas propostos. A fim de facilitar a leitura destes mapas conceituais, neste documento, atribuímos a cada mapa um nível dentro da estrutura hierárquica, iniciando pelo “nível 0” e depois pelos “níveis $i + 1$, com $i = 0, 1, 2, \dots$ ”. Nem todos os mapas construídos foram incluídos neste documento, contudo esses poderão ser acessados a partir do *ambiente Web*, voltado ao ensino-aprendizagem de redes de computadores, que será descrito no capítulo 5. Nos mapas conceituais que serão mostrados na sequência, os ícones abaixo de conceitos indicam que os mesmos estão refinados em outro mapa conceitual com maior grau de especificidade.

4.4.1 Visão geral da Internet

Tomando a Internet como principal tema significativo relacionado às redes de computadores, o mapa conceitual “nível 0” da figura 4.8, ilustra uma visão geral e uma organização inicial para os conceitos fundamentais subjacentes à Internet, mostrando as relações entre seus principais componentes e tecnologias.

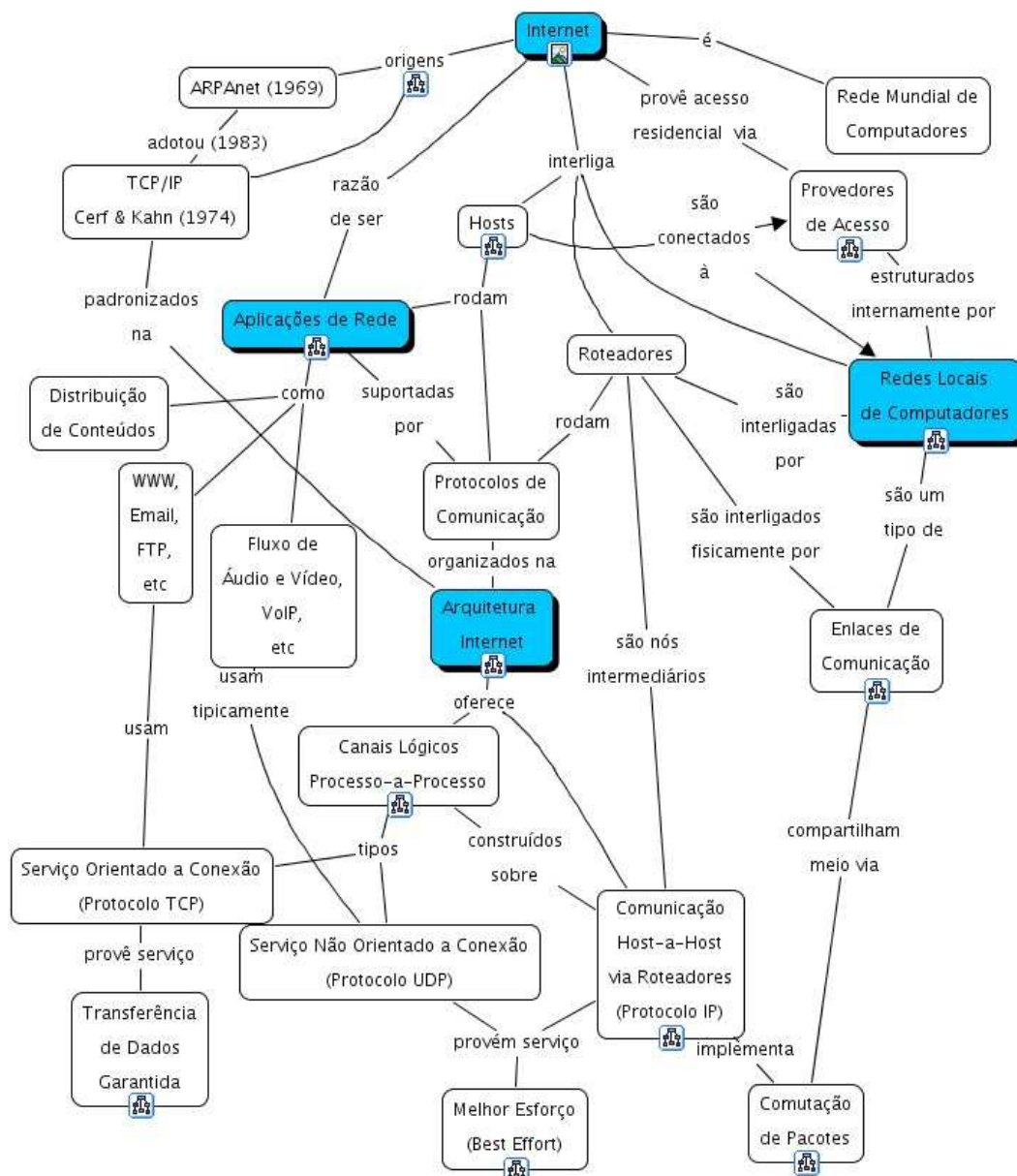


Figura 4.8: Mapa conceitual “nível 0”: Visão geral da Internet.

A análise da figura mostra várias visões acerca da Internet:

- A “visão de uso”, a partir das aplicações de rede, como o acesso a páginas Web, o correio eletrônico, a distribuição de conteúdos, a telefonia via Internet, etc, as quais são a razão de ser da Internet.
- A “visão estrutural”, representada na figura pela arquitetura Internet, formada por protocolos de comunicação organizados em camadas, os quais implementam a comutação de pacotes entre *hosts* e os canais lógicos que permitem que os processos de aplicação troquem mensagens entre si.

- A “visão topológica”, indicando que a Internet interliga *hosts*, roteadores e redes locais de computadores, formando uma rede de redes.
- Uma “visão histórica”, apontando para as origens da Internet.
- Uma “visão social”, mostrando a Internet como Rede Mundial de Computadores, ao mesmo tempo incluindo pessoas na nova Sociedade da Informação e excluindo outras que não têm oportunidade de acessá-la.

Note-se que o mapa apresenta vários *conceitos fundamentais* de redes de computadores, vistos na seção 4.1, relacionados entre si e colocados como peças essenciais para o funcionamento da Internet.

Nas seções seguintes, detalharemos em mapas conceituais mais específicos as aplicações de rede e a arquitetura Internet, correspondendo, respectivamente, à “visão de uso” e à “visão arquitetural” da Internet, além das redes locais de computadores, que são um dos componentes fundamentais da “visão topológica” da Internet.

4.4.2 Visão de uso da Internet

A razão de ser da Internet e das redes de computadores de um modo geral, são as aplicações de rede. A partir delas podemos derivar vários os conceitos subjacentes, necessários para que as aplicações funcionem. Para exemplificar, o mapa conceitual da figura 4.9, de “nível 1” em nossa hierarquia, mostra uma das possíveis representações, definindo e detalhando as características básicas das aplicações mais comuns encontradas na Internet. Esta figura remete para a visão estrutural da Internet, a qual oferece o suporte para que as aplicações funcionem.

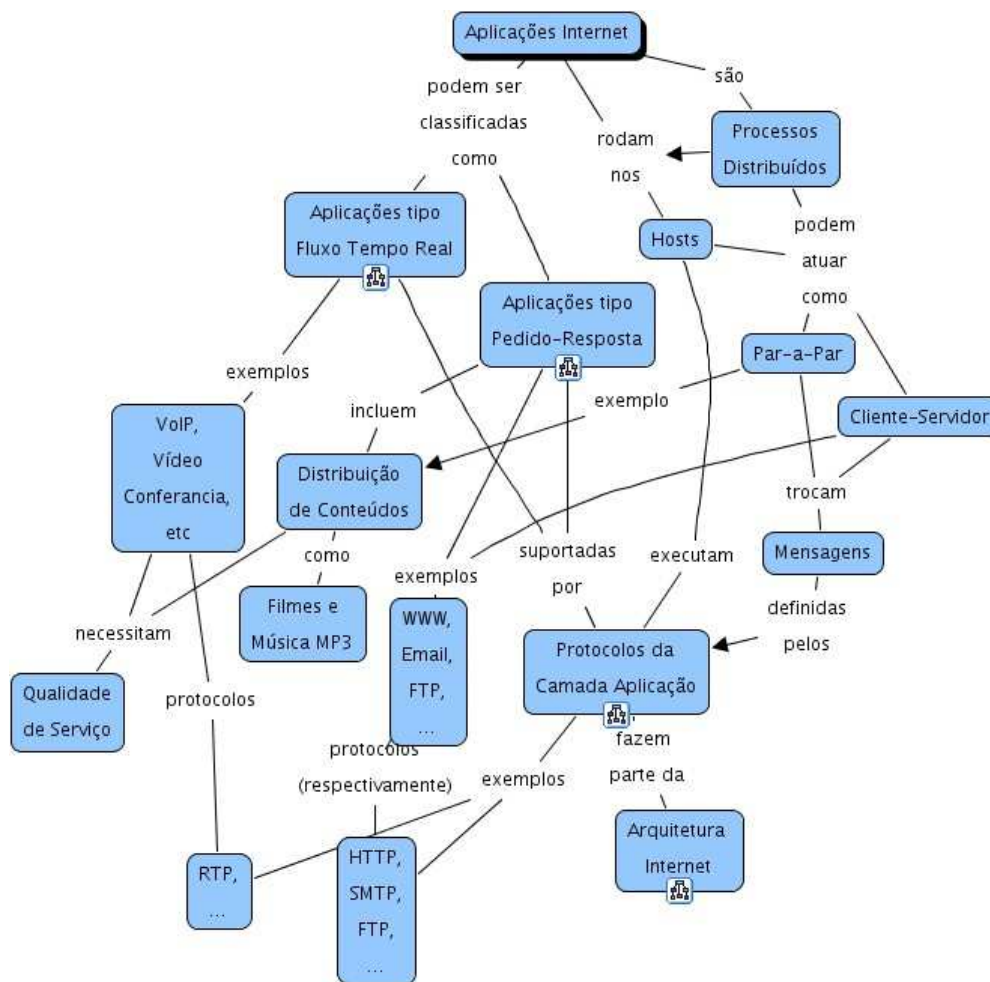


Figure 4.9: Mapa conceitual “nível 1”: Aplicações Internet.

4.4.3 Visão estrutural da Internet

Um dos conceitos fundamentais sobre os quais está construída a Internet, e as redes de computadores de uma forma geral, é o conceito de *camadas de protocolos*, o qual estabelece funções específicas para os protocolos pertencentes a cada uma das camadas. No caso da *arquitetura Internet*, seus protocolos são divididos em quatro/cinco camadas, cujas funções estão descritas de forma sintética no mapa conceitual de “nível 1” da figura 4.10. Esta figura, por sua vez, remete a outros mapas que detalham os conceitos subjacentes cada uma das camadas em questão. A figura 4.11 detalha a *camada aplicação*, a figura 4.12 detalha a *camada transporte*, a figura 4.13 detalha a *camada rede* e a figura 4.14 detalha a *camada enlace/física*.

Nos livros-textos, de forma geral, cada camada forma um capítulo independente, no qual são discutidos os conceitos e as tecnologias mais proximamente relacionados à camada em questão. Todavia, muitos conceitos e tecnologias são empregados em diferentes camadas,

sendo, portanto, interessante relacionar cada conceito com as diferentes possibilidades de sua aplicação, evitando possíveis fragmentações. Nessas figuras, apesar de cada camada estar representada por um mapa específico, quando se analisam os mapas, observa-se que muitos conceitos fundamentais aparecem em mais de uma camada, explicitando a interdependência entre elas, bem como entre os demais conceitos e tecnologias utilizados em cada caso.

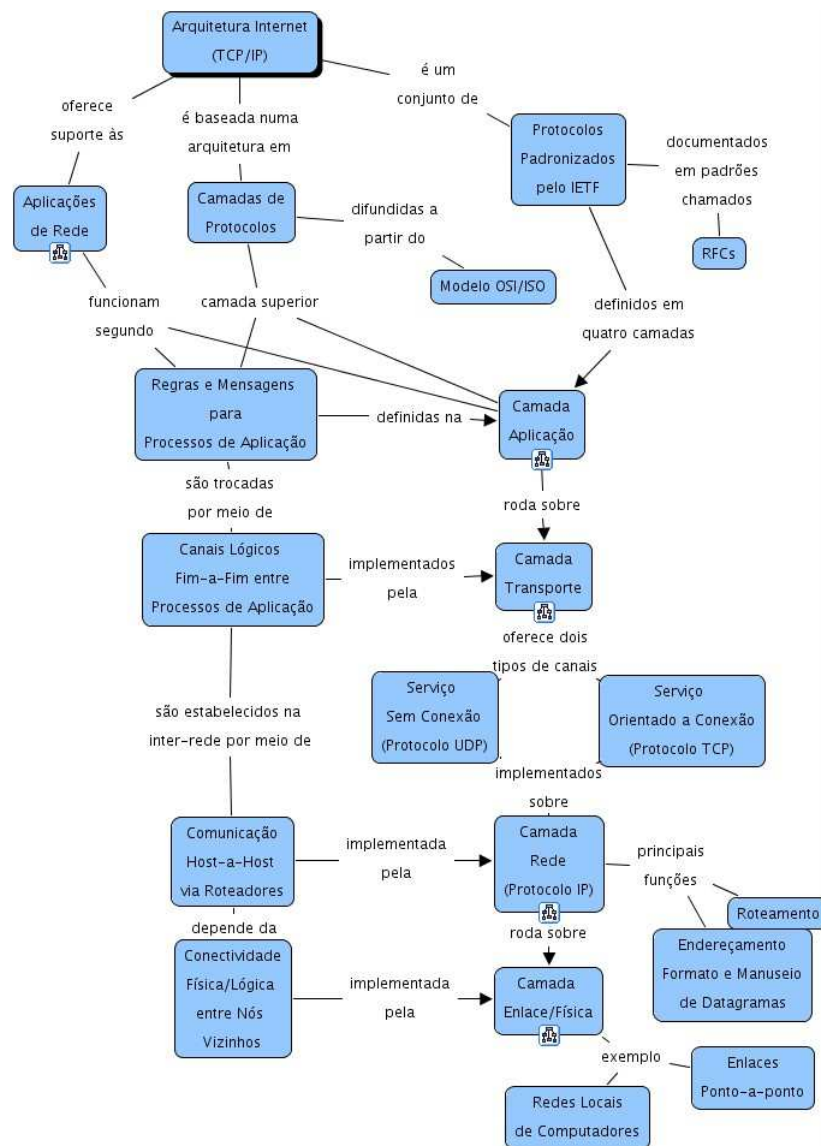


Figure 4.10: Mapa conceitual “nível 1”: Arquitetura Internet.

A figura 4.11, por exemplo, detalha os componentes da *camada aplicação* da Internet, a qual estabelece as regras para a troca de mensagens entre os processos de aplicação rodando em dois *hosts* remotos. Mostra aspectos do endereçamento dos processos de aplicação em cada *host* e remete às camadas inferiores da arquitetura Internet, as quais oferecem serviços comuns a diferentes aplicações.

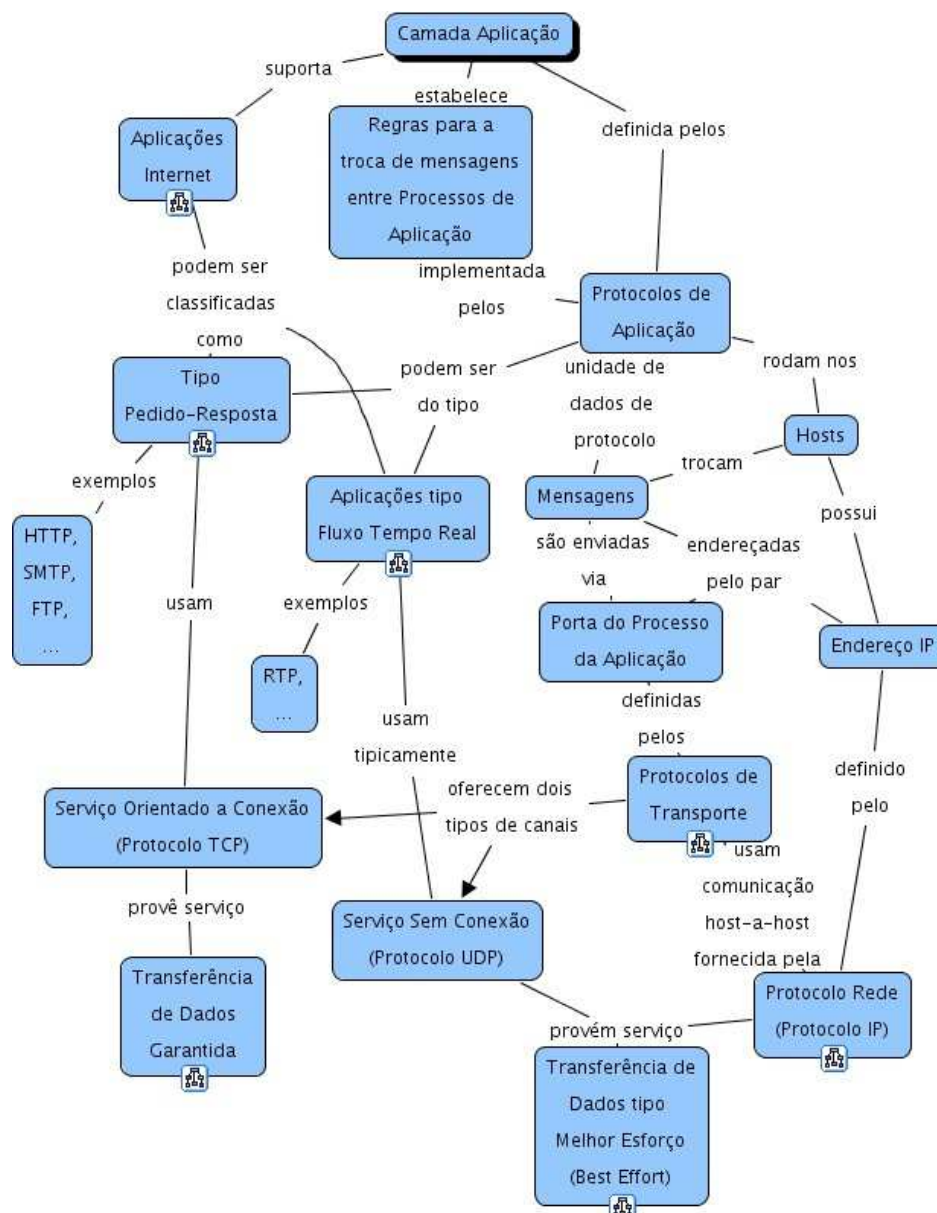


Figure 4.11: Mapa conceitual “nível 2”: Camada Aplicação da Internet.

A figura 4.12 detalha os componentes da *camada transporte* da Internet, responsável por viabilizar canais lógicos entre os processos de aplicação rodando em dois *hosts* remotos. A Internet dispõe de dois diferentes protocolos de transporte, o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*), cada um com suas peculiaridades e pontos em comum relacionados no mapa conceitual apresentado.

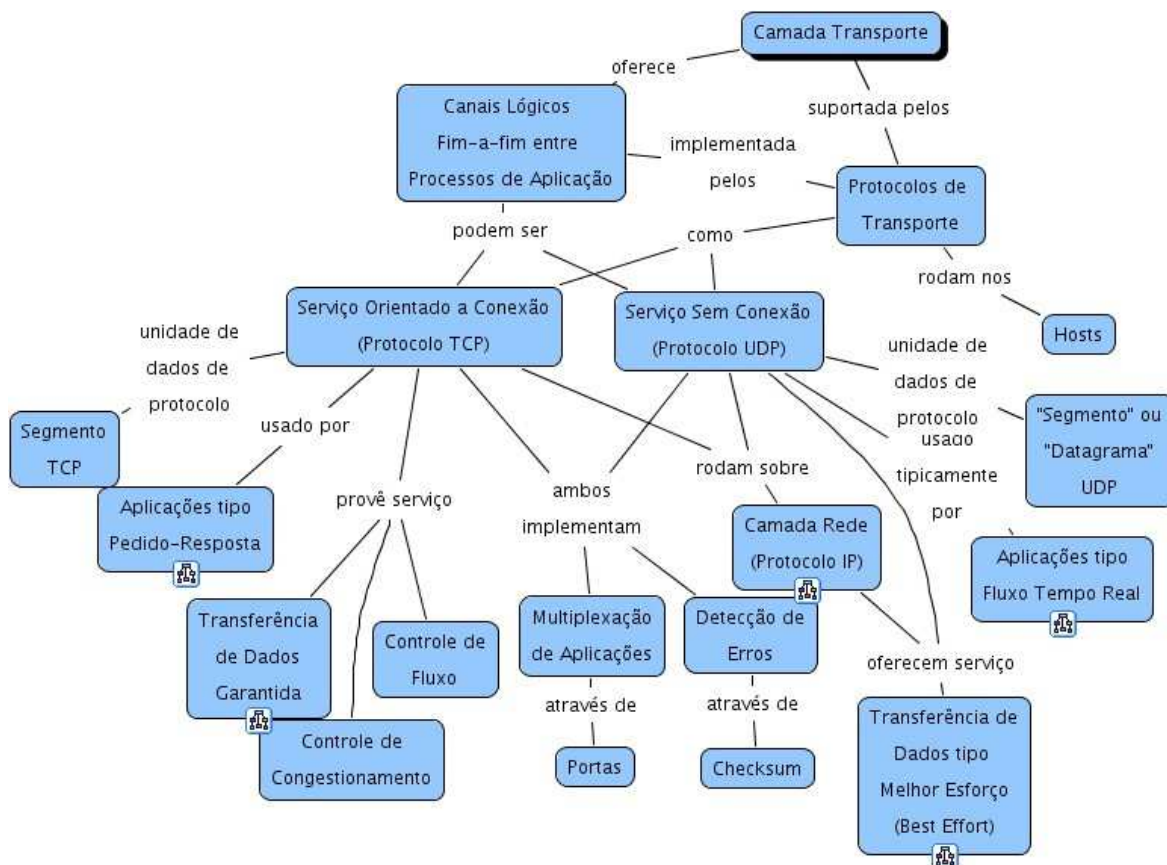


Figura 4.12: Mapa conceitual “nível 2”: Camada Transporte da Internet.

A partir da análise do mapa, pode ser lido que os protocolos de transporte da Internet rodam nos *hosts*, ou seja, nos dois extremos da comunicação, a fim de estabelecer a comunicação processo-a-processo. O *serviço orientado a conexão*, do protocolo TCP, é utilizado por aplicações do tipo pedido/resposta, como a aplicação WWW, provendo uma *transferência de dados garantida*, *controle de fluxo* e *controle de congestionamento*, além da *detecção de erros* e da *multiplexação de aplicações*, através do conceito de *portas*. Já o UDP provê acesso ao nível das aplicações para o serviço do tipo *melhor esforço*, provido pelo protocolo IP, agregando a este somente a *detecção de erros* e a *multiplexação de aplicações*, sendo tipicamente utilizado por aplicações tipo fluxo de dados tempo real, como VoIP.

Cada conceito relevante presente neste nível da hierarquia de mapas conceituais pode ser novamente refinado em um mapa mais específico (de “nível $i + 1$ ”), detalhando as tecnologias

subjacentes aos mesmos. Por exemplo, o serviço de *transferência de dados garantida*, do protocolo TCP, e o serviço tipo *melhor esforço*, do protocolo IP, são detalhados em mapas específicos. No capítulo 5, na descrição de um exemplo de utilização da *organização do conhecimento* de redes de computadores em sala de aula, os mapas conceituais detalhando estes dois conceitos são apresentados.

Continuando a descrição da arquitetura Internet, a figura 4.13 apresenta os componentes da *camada rede* da Internet, a qual implementa a comutação de pacotes, ou datagramas, entre dois *hosts* remotos.

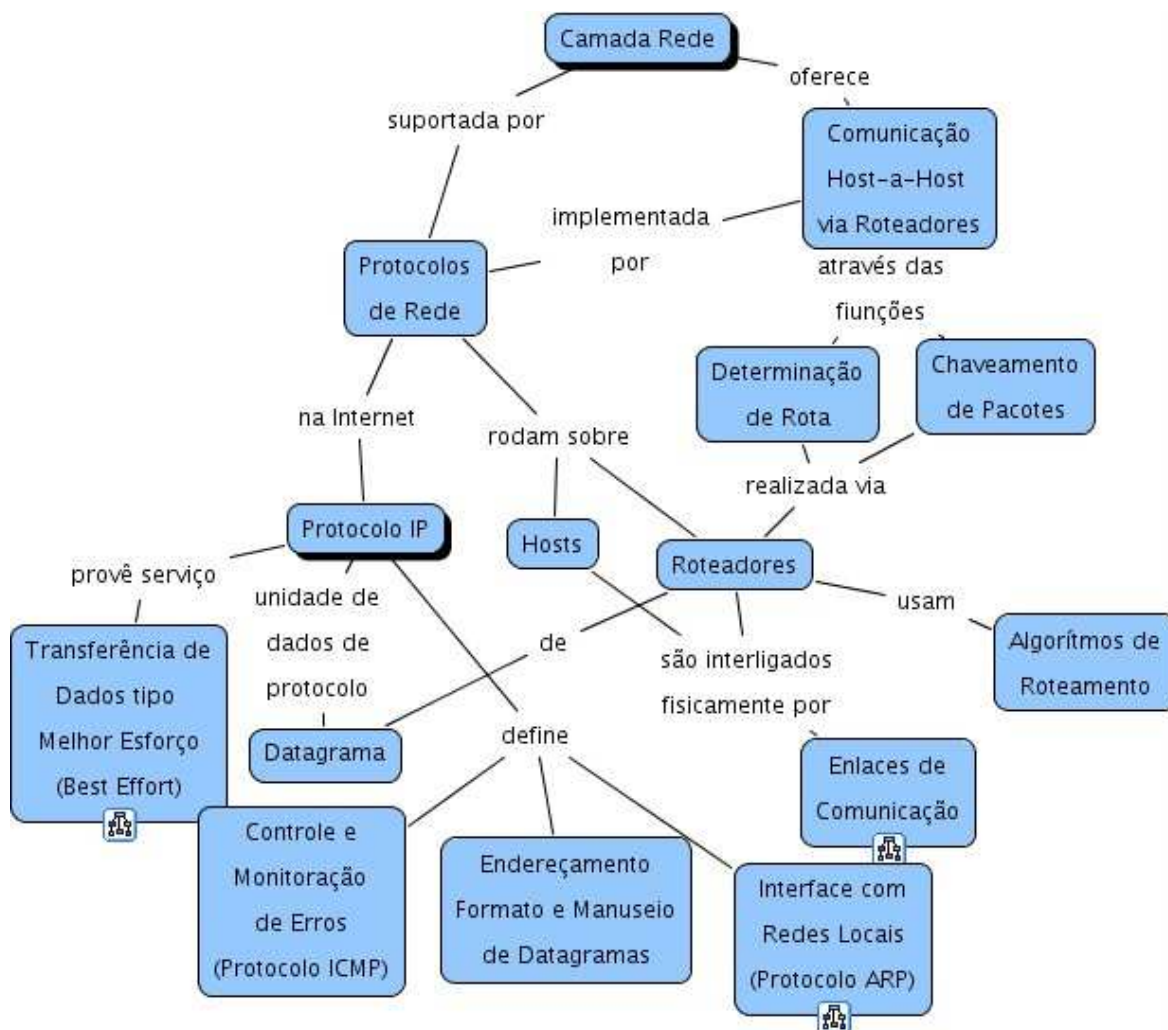


Figura 4.13: Mapa conceitual “nível 2”: Camada Rede da Internet.

A análise da figura mostra que a *camada rede* é responsável pelo chaveamento de datagramas nos *roteadores* e pela determinação da rota entre os dois *hosts* remotos. Portanto, os protocolos que implementam estas funções devem rodar tanto nos *hosts* como nos *roteadores*. Na Internet, essa camada é implementada pelo protocolo IP, oferecendo um serviço tipo

melhor esforço, o qual define ainda o endereçamento e o formato dos datagramas, mecanismos de controle e monitoração de erros, bem como a interface com a camada inferior.

Quando se trabalha com as figuras 4.12 e 4.13 em conjunto, é possível observar os conceitos transversais comuns às duas camadas, bem como as especificidades de cada uma.

A figura 4.14 mostra um detalhamento do que é um *enlace de comunicação* e da *camada enlace/física* da Internet, que implementa a conectividade física/lógica entre nós vizinhos da rede.

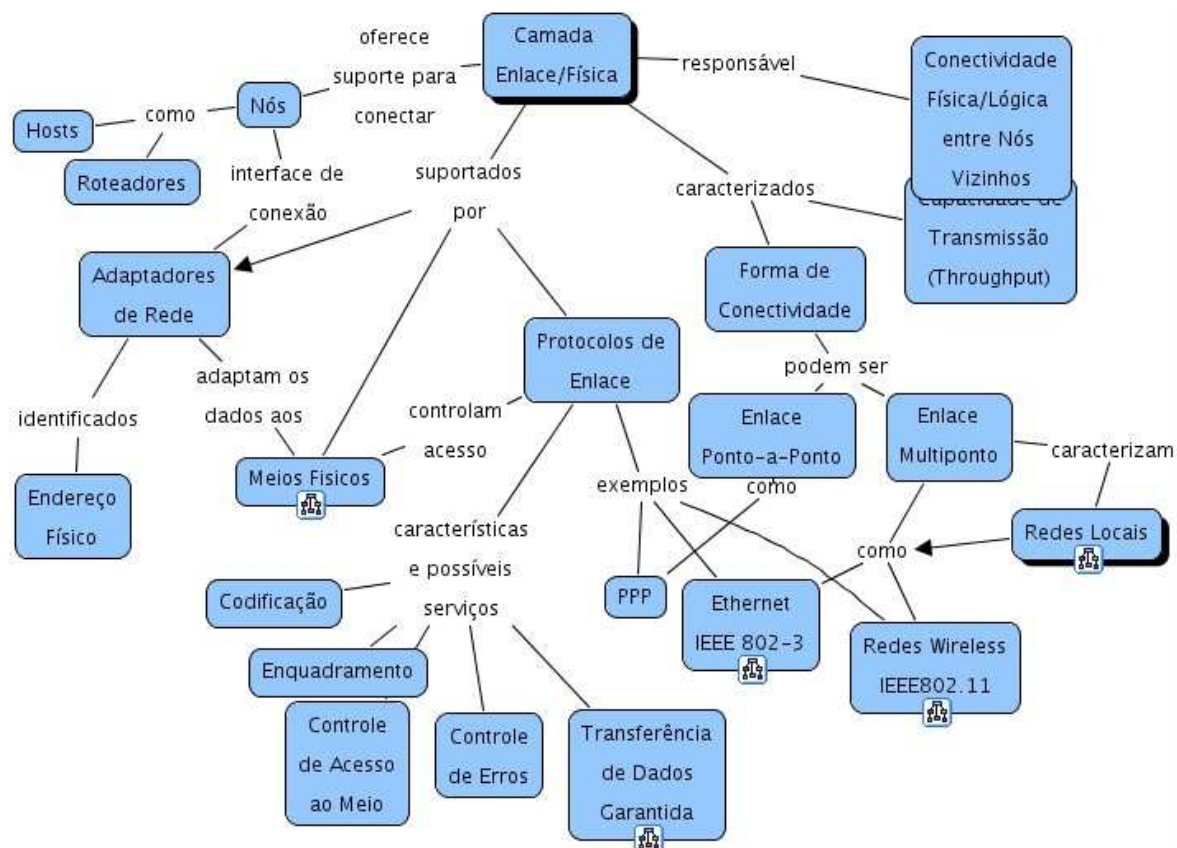


Figura 4.14: Mapa conceitual “nível 2”: Camada Enlace da Internet.

A partir da figura, pode-se ver que os enlaces de comunicação se conectam, através de *adaptadores de rede*, *hosts* e *roteadores*, os quais são identificados por *endereços físicos*. No nível lógico, os enlaces são suportados por protocolos de enlace, os quais definem a codificação e o enquadramento utilizado nos dados, o *controle do acesso ao meio* e o *controle de erros*, ou ainda implementando um serviço de *transferência de dados garantida*. Também no nível da camada enlace, podemos ter um *serviço orientado a conexão* ou *serviço não orientado a conexão*. Em geral, os enlaces são caracterizados pela sua *capacidade de transmissão* ou *vazão*, podendo ainda ser do tipo ponto-a-ponto, quando interligam diretamente dois nós, ou tipo multiponto, que são uma característica das redes locais de computadores.

4.4.4 Redes Locais de Computadores

O mapa conceitual da figura 4.15 mostra as características gerais das redes locais de computadores, as quais se constituem, por si próprias, um amplo campo de estudo dentro do domínio das redes de computadores. Todavia, dentro da arquitetura Internet, pode-se considerá-las como pertencendo a camada enlace, interligando diretamente *hosts*, oferecendo a possibilidade de compartilhamento de recursos e acesso à Internet em ambientes corporativos, hoje seu uso mais comum. Devido a esta característica, definimos também como “nível 2” este mapa conceitual, dentro de nossa organização hierárquica.

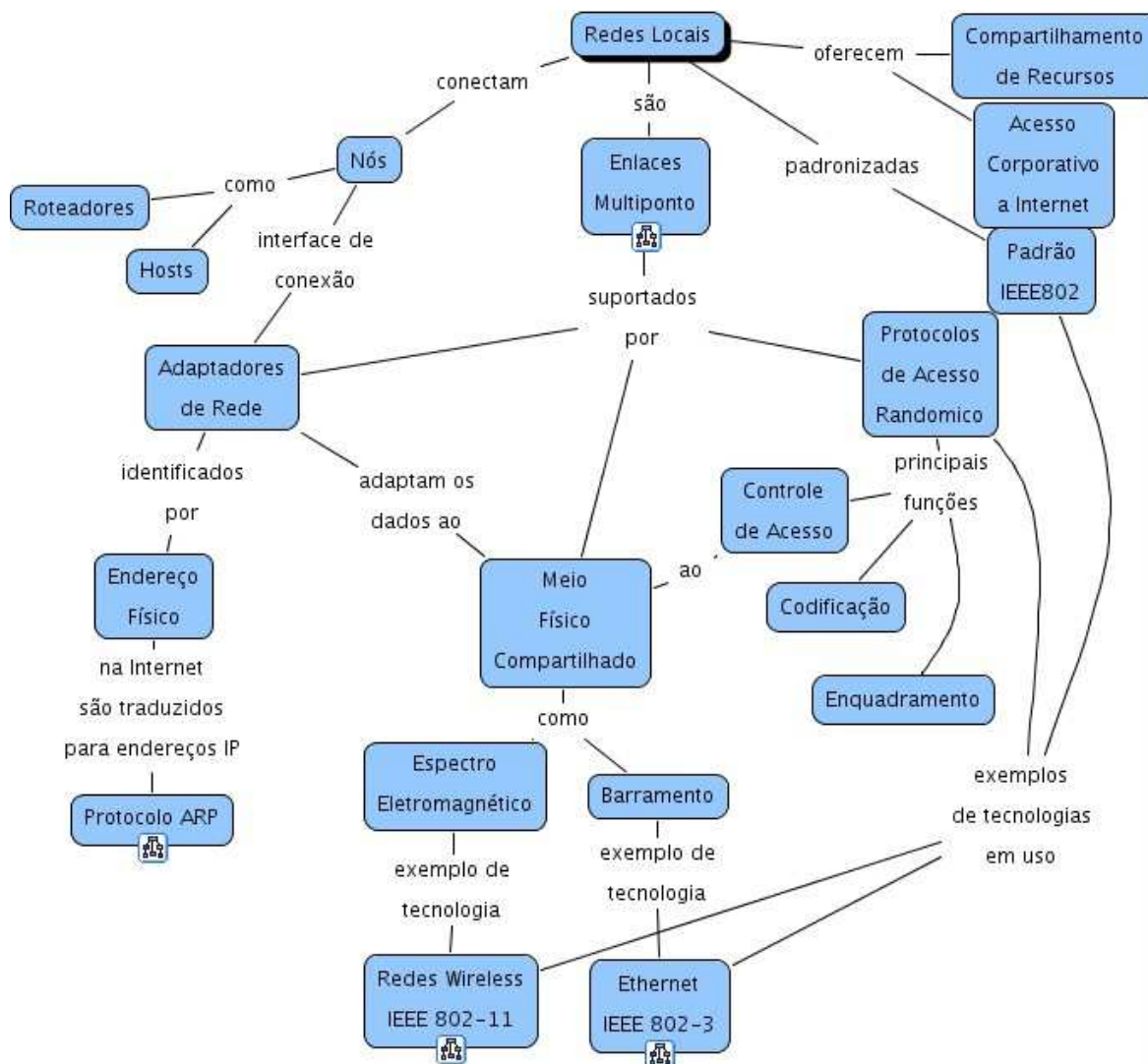


Figura 4.15: Mapa conceitual “nível 2”: Redes Locais de Computadores.

Como podemos ver na figura, no nível físico, as redes locais conectam no mesmo meio compartilhado *hosts* e *roteadores*, por meio de *adaptadores de rede*, os quais definem um *endereço físico* para cada nó. O controle do acesso ao meio é realizado por *protocolos de*

acesso randômico, os quais definem ainda a forma de *codificação e enquadramento* dos dados. Como exemplos de tecnologias de rede local em uso na atualidade, temos a rede Ethernet e *wireless*, ambas definidas nos padrões IEEE802. Essas duas tecnologias de rede local estão detalhadas, por sua vez, em mapas conceituais de “nível 3” mostrados a seguir nas figuras 4.16 e 4.17.

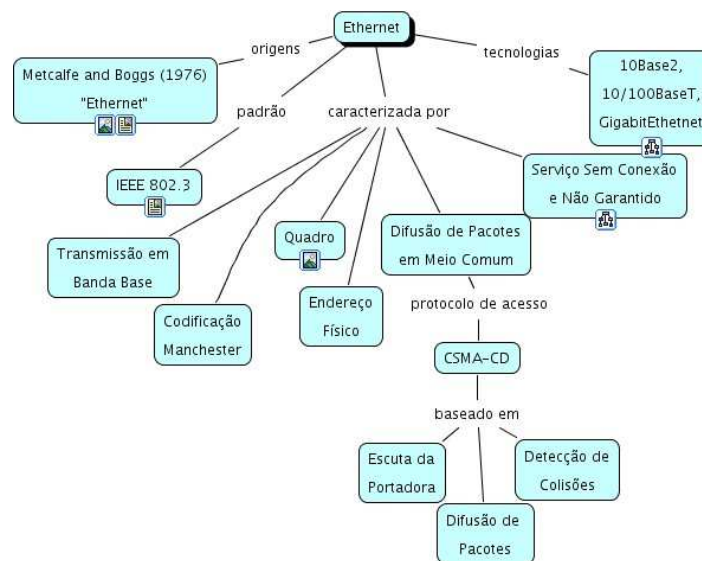


Figura 4.16: Mapa conceitual “nível 3”: Rede local Ethernet.

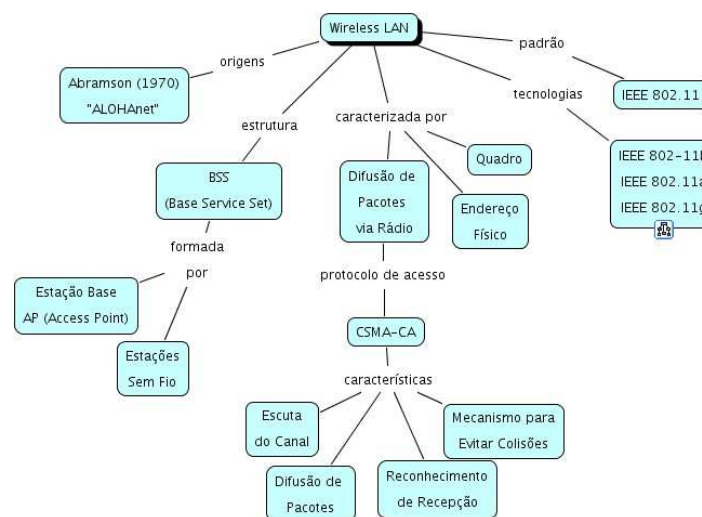


Figura 4.17: Mapa conceitual “nível 3”: Redes Wireless.

Um resumo da hierarquia de mapas conceituais apresentada nessa seção pode ser visualizada na figura 4.18. A partir do *ambiente Web*, que será apresentado no próximo capítulo, o conjunto completo de mapas conceituais que formam a *organização do conhecimento* de redes de computadores pode ser acessado.

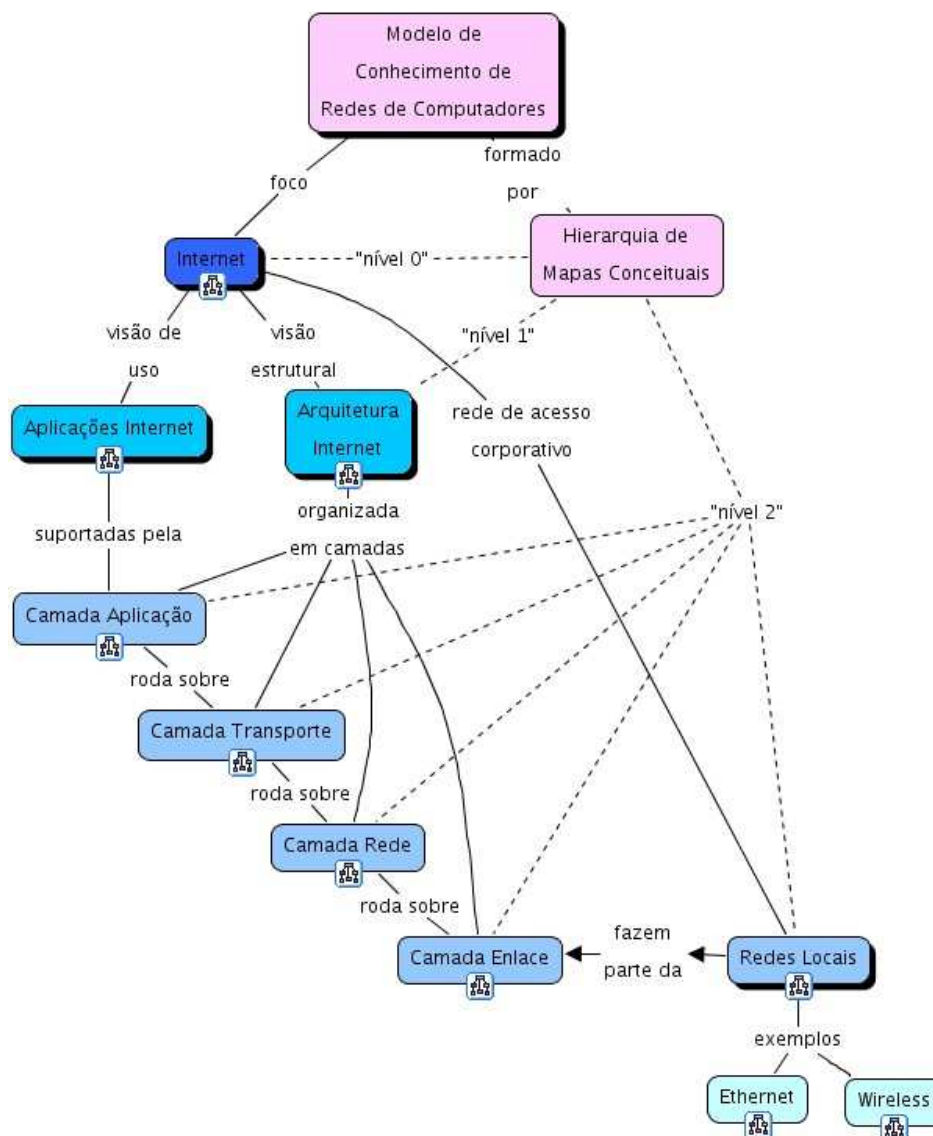


Figura 4.18: Hierarquia de mapas conceituais formando a organização do conhecimento de redes de computadores.

4.5 Linhas guias para a seleção e organização do conhecimento de redes de computadores

Como síntese do que foi apresentado neste capítulo, sugerimos as seguintes “linhas guias” para orientar a aplicação de nossas propostas educacionais na seleção e organização dos conhecimentos de redes de computadores:

1. **Seleção do conhecimento:** Tomar como ponto de partida para a seleção dos conhecimentos que serão tratados durante uma dada formação *temas significativos* da área, abrindo também espaço para a discussão do balanço entre tecnologia e sociedade. Como exemplo desta etapa, apresentamos na seção 4.3 a escolha da Internet e suas aplicações como *temas significativos* gerais em torno dos quais um curso genérico de redes de computadores poderia ser desenvolvido.
2. **Identificação dos conceitos fundamentais:** A partir dos *temas significativos* escolhidos, determinar os conhecimentos científicos e tecnológicos necessários para seu entendimento, procurando identificar os *conceitos fundamentais* envolvidos. Na seção 4.1 discutimos, a partir de uma perspectiva histórica, alguns *conceitos fundamentais* de redes de computadores, os quais não poderiam faltar em uma formação genérica na área.
3. **Organização hierárquica do conhecimento:** Uma vez demarcados os conhecimentos a serem abordados no processo educacional, organizá-los do geral ao específico, segundo as sugestões da *aprendizagem significativa*, modelando-os com a ajuda de *mapas conceituais*, formando uma *organização do conhecimento* hierárquica. Como exemplo desta etapa, apresentamos na seção 4.4 uma *organização do conhecimento* para redes de computadores, construída tendo como ponto de partida a Internet e suas aplicações.

Estas “linhas guias” têm um caráter geral, podendo ser aplicadas em diferentes áreas da educação científica e tecnológica. Em particular, destacamos as áreas tecnológicas com ampla penetração no dia a dia da sociedade contemporânea e cujas bases científicas ou tecnológicas evoluem rapidamente. Apesar desta aplicabilidade genérica, destacamos que todo o esforço despendido na elaboração deste trabalho foi realizado tendo em mente o ensino-aprendizagem de redes de computadores.

O objetivo da *organização do conhecimento* resultante deste processo é servir de orientação ao professor tanto no planejamento de cursos, quanto no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, procurando dar um significado explícito à aprendizagem e desenvolvendo os conceitos do geral ao específico. No próximo capítulo apresentamos um

exemplo de aplicação da *organização do conhecimento*, apresentada na seção 4.4, no planejamento e no desenvolvimento em sala de aula de um módulo de formação sobre redes de computadores.

Também no próximo capítulo, apresentamos outros exemplos de aplicação das propostas educacionais discutidas neste trabalho, incluindo o desenvolvimento de conceitos em sala de aula e também aspectos ligados à avaliação da aprendizagem. Por exemplo, para o desenvolvimento dos *conceitos fundamentais*, apresentamos exemplos de como abordá-los segundo as diretrizes do modelo do *currículo espiral*, repetidas vezes, cada vez com maior grau de detalhe e profundidade, complementando a abordagem que vai do geral ao específico e consolidando a compreensão dos conceitos de base da matéria. Quanto a avaliação da aprendizagem, mostramos exemplos de como os mapas conceituais, construídos pelos alunos, podem ajudar neste processo.

4.6 Considerações finais sobre a organização do conhecimento de redes de computadores

A partir das discussões apresentadas na seção 4.2, observamos que, de uma maneira geral, os livros-textos estão organizados segundo seqüências rígidas de informações e atividades. No caso de uma modelagem com mapas conceituais, como proposta na seção 4.4, a organização do conhecimento resultante tem um caráter bem mais flexível que a seqüência de capítulos, tópicos e sub-tópicos dos livros-textos, permitindo que seja modificada e adaptada às situações particulares ou às visões diferentes sobre as temáticas propostas para orientar a programação de cursos na área de redes de computadores. Da mesma forma, a cada momento, esta organização do conhecimento pode ser atualizada, tendo em vista os novos desenvolvimentos tecnológicos da área. No caso da adoção de um livro-texto, note-se que, para fazer frente aos avanços tecnológicos, há a necessidade constante de atualizar a versão em uso.

Quanto à modelagem por mapas conceituais, como já foi comentado no capítulo 3, não existe “o mapa conceitual” que represente de forma única um tema ou um problema. Assim, mesmo seguindo as orientações da aprendizagem significativa para construir “bons mapas”, pode haver, para um mesmo tema, formas diversas de elaborá-los, dependendo do contexto ou do enfoque que o professor ou especialista utiliza para construir seu modelo de conhecimento. Contudo, enfatiza-se a característica estruturante dos mapas conceituais, os quais mostram de forma explícita como cada conceito se relaciona com os demais, justificando a importância dos mesmos e como eles podem ser encadeados visando facilitar a aprendizagem.

Com os conhecimentos modelados por mapas conceituais, fica também facilitada a exploração de um tema ou assunto indo do geral ao específico. Isto pode também auxiliar na resolução dos conflitos entre abordar conhecimentos em extensão e profundidade. No início de um curso, ou em um curso de formação básica em redes de computadores, os diversos conceitos fundamentais poderiam ser abordados de maneira geral, com ênfase em seus aspectos qualitativos e na relação com outros conceitos envolvido em um tema. Para um estudo em profundidade, partir-se-ia novamente da visão ampla, visando situar o assunto dentro do contexto geral e evitando possíveis fragmentações. Detalhes do assunto poderiam então ser abordados, levando em conta os aspectos quantitativos dos conceitos, sem perder, contudo, a visão do todo. Todavia, como os mapas conceituais permitem tanto uma abordagem em “largura” como em “profundidade”, fica reservada ao professor a responsabilidade de conduzir o processo de ensino-aprendizagem da forma que achar mais conveniente.

Diferentes representações sobre determinado assunto podem também ser combinadas, a fim de mostrar como determinados conceitos são utilizados em cada caso. Por exemplo, os mapas conceituais, apresentados nas figuras 4.1, 4.5 e 4.6 (páginas 60, 66 e 69, respectivamente) ilustrando o desenvolvimento histórico das redes, podem ser combinados com a representação da Internet, mostrada na figura 4.8 (página 90), para ilustrar os conceitos fundamentais da área que permanecem desde os primeiros tempos.

Nesse sentido, julgamos oportuna a utilização dos mapas conceituais como ferramenta para organizar o conhecimento, independentemente da bibliografia de apoio ou dos materiais didáticos que venham a ser empregados para desenvolver cada conceito ou cada tópico específico.

Como alternativa ao uso exclusivo de livros-textos, propomos ainda a organização de um banco de materiais didáticos, integrado a *organização de conhecimento* de redes de computadores modelada por mapas conceituais. Assim, independentemente do material a ser utilizado, preserva-se o encadeamento e a relação entre os conceitos a partir do suporte oferecido pelos mapas conceituais. Este banco de materiais poderia incluir informações de diferentes fontes e em diferentes mídias. Como exemplo, podemos citar: trechos ou enfoques interessantes utilizados em diferentes livros-textos para descrever determinado problema; padrões e dados técnicos sobre tecnologias ou tópicos específicos; textos para os alunos relacionados a temas significativos; experiências, simulações, animações, vídeos e áudio-visuais, analogias, referência na *Web*, além da possibilidade de inclusão de materiais didáticos produzidos por outros professores.

Chamaremos de *modelo de conhecimento* de redes de computadores essa integração dos mapas conceituais, modelando o conhecimento de redes de computadores, com esse banco de materiais didáticos, que pode incluir diferentes informações e mídias.

No sentido de viabilizar esta alternativa didática aos professores, um *modelo de conhe-*

cimento de redes de computadores foi construído e disponibilizado na *Web*, a partir de ferramentas computacionais educacionais disponíveis gratuitamente na Internet. No próximo capítulo, apresentamos o *ambiente Web* construído, o qual pode ser usado como subsídio para guiar o professor, ou mesmo o aluno, na organização e no aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem de redes de computadores. Também no próximo capítulo, apresentamos um exemplo de aplicação das propostas educacionais descritas neste trabalho em um módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet.

Capítulo 5

Aplicação Educacional no Ensino-Aprendizagem de Redes de Computadores

Neste capítulo, na primeira seção, apresentamos um ambiente educacional, acessível via *Web*, construído com objetivo de oferecer elementos para fortalecer a mediação docente no ensino-aprendizagem de redes de computadores, através do uso das Tecnologias da Informação e Comunicação, utilizadas tanto como meio quanto como fim.

Na segunda seção, apresentamos um exemplo de aplicação de nossa proposta educacional em um *módulo de formação* sobre as redes de computadores e a Internet. Esta proposta, como já foi dito anteriormente, envolveu o planejamento do módulo de formação, apoio no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, e ainda suporte em atividades voltadas à avaliação da aprendizagem.

5.1 Um *ambiente Web* para subsidiar o ensino-aprendizagem de redes de computadores

Nesta seção, apresentamos um ambiente educacional onde a *organização do conhecimento* de redes de computadores, modelada por *mapas conceituais*, descrita no capítulo 4, foi disponibilizada na *Web* e integrada a um conjunto de materiais didáticos e outras informações, formando o que chamamos de *modelo de conhecimento* de redes de computadores¹.

¹Este *ambiente Web* está acessível a partir do endereço <http://www.das.ufsc.br/~cantu>.

Este *modelo de conhecimento*, juntamente com outras informações relativas à abordagem temática e às propostas educacionais apresentadas neste trabalho, poderão ser utilizados como subsídio pelo professor, ou mesmo pelos alunos, na organização e no aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem de redes de computadores.

Outra característica do ambiente é que as informações disponibilizadas na *Web* podem ser manipuladas pelos usuários, através do uso de ferramentas apropriadas, visando adaptá-las a situações particulares ou a visões diferentes sobre as temáticas propostas. Essas ferramentas oferecem ainda aos usuários a possibilidade de tecer comentários, ou abrir uma linha de discussão sobre as informações publicadas. Também é possível a determinados usuários, desde que devidamente autorizados, atualizar e agregar novas informações ao ambiente.

Nas próximas sub-seções, primeiramente, descrevemos as ferramentas utilizadas para construir este *ambiente Web*. Depois, descrevemos como navegar no ambiente desenvolvido. Finalmente, descrevemos as utilizações possíveis para o ambiente em aplicações voltadas ao ensino-aprendizagem de redes de computadores.

5.1.1 Descrição das ferramentas utilizadas para construir o *ambiente Web*

O *ambiente Web* para apoio ao ensino-aprendizagem de redes de computadores foi construído a partir das ferramentas IHMC CmapTools² (Cañas et al., 2004), disponíveis gratuitamente na Internet para uso acadêmico. Essas ferramentas permitem a construção, manipulação e publicação na *Web* de mapas conceituais, além de proverem diversos recursos que suportam a interatividade entre os usuários e entre os usuários e o ambiente *Web*.

As ferramentas CmapTools são baseadas numa arquitetura cliente-servidor que permite aos usuários publicarem os modelos de conhecimento por eles criados diretamente em um CmapServer conectado à Internet.

Quando um mapa conceitual é salvo em um CmapServer, o servidor automaticamente gera uma versão HTML do mesmo, associada a um endereço URL do local onde o mapa está armazenado. As ferramentas CmapTools permitem associar recursos aos nós de um mapa conceitual, incluindo figuras, textos, sons, vídeos, páginas *Web* ou outros mapas conceituais. Estes recursos podem estar armazenados no mesmo CmapServer ou em qualquer outro servidor da Internet.

Uma vez publicado em um CmapServer, um modelo de conhecimento pode ser acessado de qualquer lugar da Internet a partir de um navegador *Web* comum (ou *browser*). Todavia,

²IHMC Cmap Tools: <http://cmap.ihmc.us>

se acessado usando as ferramentas cliente CmapTools, o modelo pode ser modificado remotamente e atualizado imediatamente no CmapServer, desde que o usuário seja devidamente autorizado. Um esquema de “permissões” permite definir os direitos dos usuários (leitura, escrita, etc) sobre os mapas armazenados no servidor.

Entre outros recursos disponíveis nas ferramentas CmapTools, que utilizamos em nossa aplicação educacional, estão as *anotações* e as *linhas de discussão*. As *anotações* oferecem aos usuários a possibilidade de tecer comentários, questionamentos ou sugestões sobre os mapas conceituais, partes de um mapa conceitual ou sobre um simples conceito, bem como sobre outras informações publicadas. Também a partir de um esquema de permissões, estas anotações ficam visíveis aos demais usuários, os quais podem também colocar sua opinião sobre o assunto. As *linhas de discussão*, por sua vez, podem ser associadas a conceitos, proposições ou frases de ligações de mapas conceituais, permitindo que diferentes usuários possam discutir, de forma assíncrona, sobre determinado assunto.

Na próxima subseção, apresentamos o *ambiente Web* voltado ao ensino-aprendizagem de redes de computadores, construído a partir dessas ferramentas, descrevendo como navegar e utilizar este ambiente, visando obter subsídios para a implementação das propostas educacionais apresentadas neste trabalho.

5.1.2 Navegação e ações possíveis no *ambiente Web*

O ambiente desenvolvido se apresenta na forma de um *sítio Web*, a partir do qual é possível ao usuário acessar um *modelo de conhecimento* de redes de computadores, construído na forma de uma hierarquia de mapas conceituais, além de outras informações que orientam o usuário na aplicação das propostas educacionais, voltadas ao ensino-aprendizagem de redes de computadores, apresentadas neste trabalho.

Toda a navegação no ambiente proposto é orientada por mapas conceituais. Conforme foi discutido no capítulo 3, na organização de *sítios Web*, os mapas conceituais estendem as potencialidades das tradicionais páginas de *hiper-texto*, criando um novo método para organizar e mediar a navegação através das informações. Como nos mapas conceituais as “*ligações*” (*links*) têm uma semântica explícita, fica mais fácil para o usuário saber para onde cada ligação vai levá-lo (Cañas et al., 1997).

A partir da página inicial do *ambiente Web*, é possível obter informações sobre as ferramentas necessárias para navegar no ambiente e as ações possíveis de serem realizadas com cada uma delas, sobre os objetivos e fundamentos teóricos do ambiente proposto, bem como acessar um *modelo de conhecimento* de redes de computadores, modelado por mapas conceituais e ligado a *materiais didáticos* e a outras informações e mídias.

O modo mais simples de acessar o ambiente é a partir de um navegador *Web* comum. Neste caso, é possível ao usuário navegar pelas estruturas de conhecimento apresentadas, onde todas as informações estão organizadas por meio de mapas conceituais. Os ícones abaixo dos “conceitos” ou “frases de ligação” dos mapas conceituais indicam as ligações (ou *links*) que levam a um detalhamento desse conceito ou a outras informações complementares, as quais podem estar na forma de outro mapa conceitual, texto, figura, URLs, etc.

Por exemplo, a figura 5.1 mostra um instantâneo da utilização do *ambiente Web*, a partir de um navegador *Web* comum, por meio do qual o usuário está acessando um mapa conceitual sobre a Internet e outro sobre as redes locais Ethernet, os quais estão ligados a outros recursos, como textos e figuras, abertos em janelas independentes depois que o usuário clicou nos ícones correspondentes.

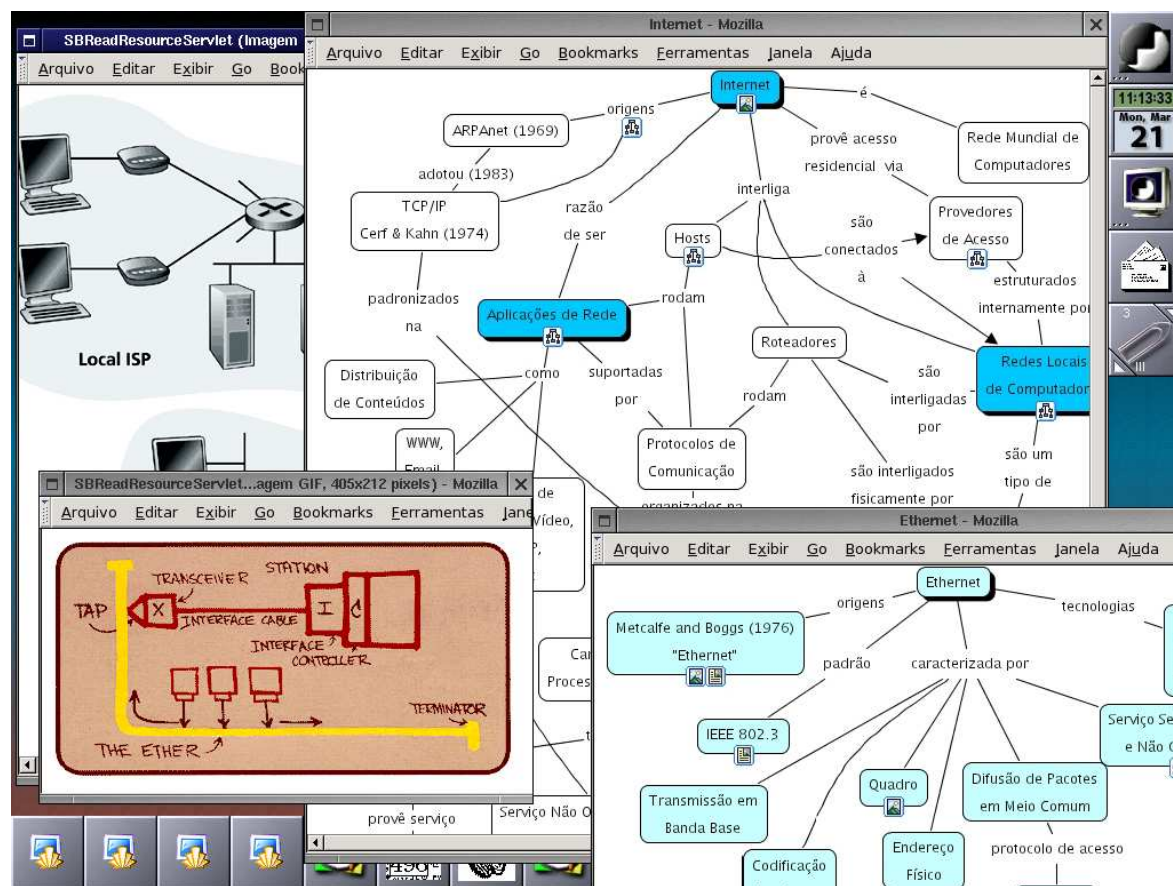


Figura 5.1: Exemplo do *ambiente Web*, mostrando um mapa conceitual ligado a outros recursos.

Outra forma de acessar o *ambiente Web* é a partir de uma estação cliente CmapTools³. Neste caso, para um usuário comum, além de navegar em busca de informações, é possível

³O software cliente **CmapTools** pode ser obtido gratuitamente na Internet para uso acadêmico no endereço <http://cmap.ihmc.us>, havendo versões disponíveis para várias plataformas.

copiar um mapa conceitual para a estação local, e em seguida modificá-lo ou adaptá-lo, segundo sua própria visão ou interesse específico.

A partir de um esquema de permissões, definido pelo administrador ou responsável pelo ambiente, um usuário pode, a partir de uma estação cliente CmapTools, remotamente, adicionar ou modificar os mapas conceituais e demais informações armazenadas no servidor do ambiente e publicá-las imediatamente na *Web*. Esse esquema está sendo utilizado para a manutenção das informações no ambiente.

Também a partir de um esquema de permissões, em uma estação cliente CmapTools, um usuário pode postar comentários, questionamentos e anotações sobre conhecimentos apresentados no ambiente *Web*, ou ainda abrir uma linha de discussão sobre um tópico específico. Neste caso, abre-se a possibilidade de interação entre diferentes usuários, ou entre os usuários e os responsáveis pelo ambiente. Por exemplo, suponha-se que, a um dado conceito, estejam relacionados algumas informações adicionais e materiais didáticos, como uma analogia que permita facilmente apresentar as idéias expressas por este conceito. Então, um usuário poderá, utilizando uma anotação, comentar a analogia proposta, ou ainda, sugerir outra analogia para ilustrar o mesmo conceito. Diferentes usuários podem acompanhar e intervir com suas idéias na discussão iniciada, permitindo que as informações no ambiente sejam enriquecidas de forma cooperativa.

A abertura de uma linha de discussão também é um recurso interessante para esclarecer detalhes tecnológicos da área de redes de computadores. Apesar de todo o arcabouço conceitual que sustenta as redes, muitos aspectos dos sistemas dependem da sua implementação e, portanto, constituem conhecimentos que são dominados, muitas vezes, apenas por usuários com grande experiência prática, incluindo aqui muitos alunos. Portanto, a contribuição destas pessoas pode ajudar bastante os professores de redes de computadores, muitos dos quais têm sua atuação voltada majoritariamente às questões conceituais e ao meio acadêmico. Nesse caso, as linhas de discussão, assim como as anotações, podem também ser utilizadas como ferramentas de aprendizagem, nas quais os usuários podem discutir temas relativos às redes de computadores.

5.1.3 Utilização do *ambiente Web*

Nesta sub-seção, apresentamos como as informações disponibilizadas neste *ambiente Web* podem auxiliar em diferentes atividades relacionadas com ensino-aprendizagem de redes de computadores, como: 1) Apoio no planejamento de cursos na área de redes de computadores; 2) Auxílio no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula; 3) Subsídios para a avaliação da aprendizagem.

Apoio no planejamento de cursos

Os professores podem utilizar o *ambiente Web* a fim de obter auxílio para planejar um curso, selecionando os conhecimentos a serem trabalhados, a partir da proposta de *modelo de conhecimento* de redes de computadores, definindo uma sequência para desenvolver os diferentes tópicos e escolhendo os *materiais didáticos*.

Também é possível ao usuário acessar uma síntese das principais contribuições da educação que foram utilizadas neste trabalho. Por exemplo, foram incluídos no ambiente os mapas conceituais mostrados no apêndice A, descrevendo as contribuições da educação, e um detalhamento da proposta temática aplicada a área de redes de computadores. Esses mapas conceituais, por sua vez, estão ligados a textos e sítios *Web* relacionados aos modelos de educação em questão. Desta forma, o professor poderá verificar, se assim o desejar, algumas das idéias que dão suporte ao *modelo de conhecimento* proposto e dispor também de materiais que poderão vir a enriquecer sua prática docente, fundamentada no campo da educação. Nota-se que, em geral, os professores da área técnica não recebem formação pedagógica e tampouco os livros-textos da área tratam destas questões com alguma profundidade.

Também como auxílio no planejamento de cursos, foi incluída no conjunto de informações disponibilizadas no ambiente uma síntese da forma de organização utilizada em alguns dos principais livros-textos sobre redes de computadores (Kurose e Ross, 2000; Peterson e Davie, 2000; Tanenbaum, 1996). Por exemplo, foram incluídos os mapas conceituais e as informações apresentadas no apêndice B, além de ligações para os sítios *Web* dos autores. Assim, o professor poderá comparar as seqüências apresentadas nos livros texto com o *modelo de conhecimento* de redes de computadores proposto, fazendo as escolhas e adaptações que julgar necessárias em função do curso que está planejando.

A utilização do *modelo de conhecimento* de redes de computadores, proposto neste trabalho, pode mudar a estrutura tradicional dos cursos, os quais, em geral, têm uma estrutura seqüencial fixa, normalmente baseada em livros-textos. A partir da estruturação do conhecimento por mapas conceituais, é possível separar os conteúdos do curso da seqüência em que serão abordados. Os conceitos ficam definidos como objetos de aprendizagem ligados entre si pela estrutura dos mapas conceituais, de uma forma independente da seqüência do curso. Contudo, fica a critério do professor a exploração em largura ou em profundidade do *modelo de conhecimento*, bem como a definição do grau de detalhamento em que cada conceito será desenvolvido, para os quais o professor poderá escolher o material didático que mais lhe convém para a situação dada.

Auxílio no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula

No que se refere ao desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, podemos dizer que seu sucesso depende, em grande parte, da forma de organização dos conhecimentos que serão trabalhados e do esforço do professor, o qual é o responsável pela mediação das atividades educacionais, combinando suas intervenções, os materiais didáticos e a interação com os alunos.

No sentido de estruturar o material a ser ensinado, muitas vezes, o professor busca apoio em livros-textos. Quando ele não os utiliza, dependendo da forma como organiza suas aulas, pode haver, por parte dos alunos, a sensação de que o estudo está desestruturado; que não há uma relação entre os diferentes tópicos em estudo. Como vimos no capítulo 3, durante o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, os mapas conceituais podem ser utilizados para organizar o conhecimento, seja no início de um módulo ou unidade, visando explicitar o encadeamento dos conceitos, seja também ao final do módulo, como síntese ou revisão dos conceitos que foram trabalhados.

Associados aos mapas conceituais, diferentes materiais didáticos podem ser utilizados para tratar de cada conceito, dependendo as escolhas que o professor venha a fazer, sem perder a relação entre cada assunto em discussão. Assim, o *modelo de conhecimento*, disponibilizado no *ambiente Web*, pode ser utilizado como apoio pelo professor, organizando o conhecimento e oferecendo alternativas de materiais didáticos para facilitar o desenvolvimento de conceitos específicos.

Também os alunos podem navegar pelo *modelo de conhecimento* disponibilizado na *Web* para pesquisar e procurar informações sobre redes de computadores. A forma gráfica e hierárquica da representação proporcionada pelos mapas conceituais ajuda os alunos a visualizar os conceitos sem perder de vista sua relação com o todo. Além disso, os alunos podem acessar informações e mídias ilustrativas, como figuras, vídeos, simulações, etc.

Subsídio para a avaliação da aprendizagem

A partir do momento em que os alunos estejam familiarizados com os mapas conceituais, os mesmos podem ser também utilizados como ferramentas de aprendizagem e avaliação. Pode-se propor aos alunos que construam seus próprios mapas, sintetizando o que aprenderam sobre um dado assunto, o que entenderam sobre determinado tema de pesquisa, ou ainda a fim de resumir as idéias apresentadas, por exemplo, em um texto.

O uso do mapa conceitual na avaliação da aprendizagem requer que o professor e os alunos já tenham uma certa experiência de trabalho com essa ferramenta. Como vimos no

capítulo 3, os mapas conceituais podem ser utilizados para verificar o que os alunos sabem sobre determinado assunto, seja no início do curso para determinar seus conhecimentos prévios, seja durante o processo de aprendizagem ou ao seu final. Os mapas conceituais propostos no *ambiente Web* podem servir como parâmetro de comparação para avaliar mapas produzidos pelos alunos, ou como modelos para serem utilizados na construção de mapas sobre outros assuntos.

Na próxima seção, apresentamos alguns exemplos de aplicação das propostas educacionais descritas nestes trabalho em diferentes atividades relacionadas com ensino-aprendizagem de redes de computadores.

5.2 Exemplo de uma aplicação educacional no ensino-aprendizagem de redes de computadores

Nesta seção, apresentamos um exemplo de aplicação das propostas educacionais apresentadas neste trabalho em um *módulo de formação* sobre as redes de computadores e a Internet. São abordados aspectos relativos ao planejamento deste módulo de formação, ao desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula e também à avaliação da aprendizagem. Uma avaliação qualitativa das atividades realizadas também é apresentada.

Este módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet faz parte do currículo do Curso Técnico de Telecomunicações do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina (CEFET/SC), Unidade de São José. Neste módulo, o objetivo é o desenvolvimento de competências para o técnico de nível médio, voltadas à aplicação das tecnologias de rede. É importante uma compreensão geral dos conceitos chaves e terminologias relativas às redes de computadores e à Internet. Uma boa habilidade prática com as tecnologias e aplicações de rede também é requerida, tanto no aspecto ligado ao seu uso, como no que se refere ao suporte para a conectividade em rede na Internet e nas redes locais de computadores, envolvendo questões como a instalação, configuração e auxílio na administração e gerenciamento do *software* e *hardware* associado.

5.2.1 Planejamento de um módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet

Como vimos anteriormente, no planejamento de qualquer curso, é necessário justificar os conhecimentos que serão abordados, assim como definir o grau de detalhamento em que os mesmos serão desenvolvidos durante o ensino-aprendizagem e sua organização sequencial.

Para selecionar os conhecimentos que compõem o programa do módulo em questão, utilizamos a proposta temática apresentada na seção 4.3, tomando a Internet, as aplicações de rede e as redes locais de computadores como *temas significativos* principais para justificar o programa geral a ser desenvolvido. A escolha destes temas se encaixa perfeitamente nos objetivos definidos para este módulo de formação, descritos a pouco.

Em relação ao enfoque de formação deste módulo, o mesmo está voltado à *aplicação* das tecnologias de rede. Estamos considerando os três enfoques discutidos na seção 1.3, a saber: voltado ao *uso* das tecnologias da informação e comunicação; voltado à *aplicação* das tecnologias de rede; ou, ainda, voltado ao *desenvolvimento* de novas tecnologias e aplicações de rede. Com o intuito de reforçar nossas escolhas temáticas, decidimos utilizar a visão de *uso* das redes de computadores, dentro da programação do módulo, como elemento motivador para a aprendizagem. A idéia é mostrar a “utilidade” da Internet e das aplicações de rede no dia-a-dia das pessoas e enfatizar a “generalidade teórica” dos conceitos que estão por trás de seu funcionamento. Além disso, no desenvolvimento desta visão de uso, optamos por, inicialmente, tratar os diferentes conceitos relativos às redes de computadores com bastante generalidade, para, posteriormente, retrabalhá-los com maior grau de detalhe, colocando em prática a idéia de *currículo espiral*, discutida na seção 2.5. O plano de ensino apresentado no apêndice C ilustra a seqüência de desenvolvimento dos conhecimentos e as atividades didáticas que foram planejadas para colocar em prática estas idéias. Algumas destas atividades serão descritas mais adiante nesta seção.

No que se refere à distribuição dos conteúdos e à definição de uma seqüência temporal para desenvolvê-los, utilizamos a *organização do conhecimento* de redes de computadores, apresentada na seção 4.4, como orientação na montagem do plano de ensino do módulo, procurando programar o desenvolvimento dos conceitos indo do geral ao específico, como sugere a *aprendizagem significativa*, apresentada na seção 2.4.

Conjunto de conhecimentos componentes do módulo de formação

Para definir os conhecimentos componentes do módulo de formação, tomamos como referência a proposta temática e a hierarquia de mapas conceituais que compõem a *organização do conhecimento* de redes de computadores, ambas apresentadas na seção 4.4. Como comentado anteriormente, quatro grandes unidades temáticas podem ser destacadas em função dessas escolhas: a Internet, as aplicações de rede, a arquitetura Internet e as redes locais de computadores. Considerando as competências do técnico de nível médio e o enfoque de formação do módulo, apresentamos, a seguir, os conhecimentos que foram selecionados para compor cada uma destas unidades temáticas, as quais serão desenvolvidas conforme o plano de ensino apresentado no apêndice C:

Internet – Visão geral da Internet, tanto como rede mundial de computadores, destacando seus aspectos históricos e sua importância e utilidade na sociedade contemporânea, quanto como exemplo de rede de computadores, nosso objeto de estudo. As principais aplicações Internet, como *email*, *Web*, *VoIP* etc. A topologia básica e os principais componentes da Internet, como *hosts*, roteadores e redes locais de computadores. Os provedores e as formas de acesso à Internet. Os conceitos de protocolos de comunicação e comutação de pacotes; principais tecnologias subjacentes à Internet e às redes de uma forma geral. Características gerais dos principais protocolos da Internet, os protocolos TCP/IP.

Aplicações de rede – Visão de uso das aplicações, para motivar a aprendizagem. Aplicações cliente-servidor e par-a-par. Os diferentes tipos de aplicações, como pedido-resposta e fluxo de dados tempo real, e os serviços comuns solicitados por elas à rede. Protocolos de aplicação e a interface com os protocolos da Internet.

Arquitetura Internet – O conceito de camadas e encapsulamento de protocolos. O modelo Internet, destacando também a importância histórica do modelo OSI. A camada aplicação, que define regras para a troca de mensagens entre os processos de aplicação. A camada transporte, a qual oferece canais de comunicação lógicos fim-a-fim para os processos de aplicação, detalhando as características dos protocolos TCP e UDP. A camada rede, que trata os problemas relativos ao endereçamento e roteamento de pacotes entre dois computadores remotos, detalhando as características do protocolo IP. A camada enlace/física que trata da comunicação entre nós vizinhos, incluindo as redes locais como exemplo de enlaces de comunicação.

Redes locais de computadores – As importância das redes locais no compartilhamento de recursos e para prover acesso à Internet em ambientes corporativos. As características das tecnologias Ethernet e *Wireless*, as mais utilizadas atualmente. Protocolos de acesso ao meio. Equipamentos de rede, *hubs*, pontes e *switches*.

O ordenamento das unidades como se apresenta acima já sugere, de certa forma, um seqüenciamento dos conteúdos que vai do geral ao específico, iniciando com uma visão geral da Internet, passando pela visão de uso das aplicações, depois detalhando a arquitetura Internet e finalizando com as redes locais de computadores. Entretanto, isso não é suficiente para orientar um seqüenciamento “ótimo” dos conteúdos, como sugere o modelo da *aprendizagem significativa*. Com a ajuda da hierarquia de mapas conceituais que compõem a *organização do conhecimento* de redes de computadores, utilizada como ferramenta em sala de aula, obtém-se uma visualização evidente da hierarquização e da relação entre os diferentes conceitos e tecnologias em estudo. Na próxima sub-seção, descrevemos algumas atividades didáticas que foram realizadas visando colocar em prática este programa, nas quais a *organização do conhecimento* de redes de computadores foi utilizada de diferentes

modos, como descrito no capítulo 3, visando facilitar a aprendizagem significativa dos conceitos. Estas atividades didáticas fazem parte do plano de ensino do módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet, apresentado no apêndice C.

5.2.2 Desenvolvimento do programa do módulo de formação em sala de aula

A partir do planejamento do módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet, apresentado na seção anterior, apresentamos aqui algumas das atividades didáticas que foram realizadas com o intuito de levar para a sala de aula as propostas educacionais apresentadas neste trabalho. O plano de ensino, apresentado no apêndice C, traz uma relação do conjunto de atividades que foram previstas para este módulo de formação.

Essas atividades, como comentado anteriormente, foram aplicadas no Curso Técnico de Telecomunicações, do CEFET/SC, no segundo semestre 2004. Por se tratar de um curso profissional de nível médio, em uma área periférica da Grande Florianópolis, cabe ressaltar que muitos dos alunos têm seu primeiro contato com as redes de computadores e a Internet ao ingressarem nesse curso.

Nessas atividades foram considerados os conteúdos e a forma de desenvolvê-los, alguns métodos e recursos didáticos, atividades de laboratório, bem como algumas formas de avaliação da aprendizagem.

Organizador prévio para iniciar o estudo das redes de computadores

Neste tópico, apresentamos a primeira atividade realizada com os alunos, prevista no plano de ensino do módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet.

De acordo com a *aprendizagem significativa*, os *organizadores prévios* são materiais introdutórios, apresentados antes do próprio material a ser aprendido, cujo objetivo é servir de ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber para aprender significativamente o novo assunto.

Nesse sentido, apresentamos uma sugestão de organizador prévio que foi utilizado como material preparatório para iniciar o estudo das redes de computadores. O material proposto não é uma introdução às redes de computadores, contudo mantém correlação conceitual com os princípios de base que permitirão entender posteriormente como as redes funcionam.

Para ilustrar a idéia, apresentamos na figura 5.2 um mapa conceitual que permite situar as redes de computadores dentro de um conjunto mais geral de redes de telecomunicações.

Esse conjunto engloba o sistema telefônico, os sistemas de rádio e televisão e as redes de computadores. Apesar de cada um destes sistemas ter-se desenvolvido de forma independente e com tecnologia particular, a tendência atual é caminharem para uma integração, todos convergindo para as tecnologias de comunicação digital.

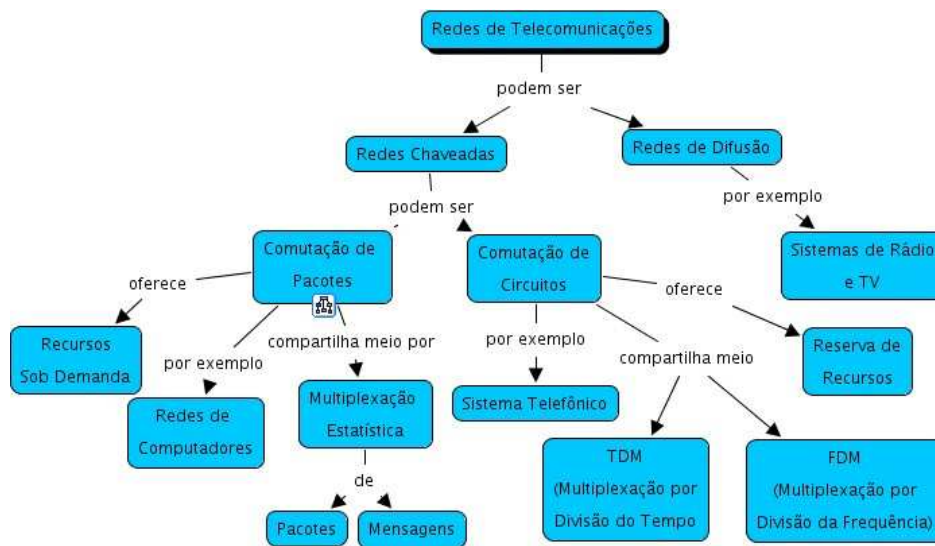


Figura 5.2: Taxonomia das redes de telecomunicações.

O sistema telefônico e os sistemas de difusão de rádio e TV desenvolveram-se ao longo do século XX, atingindo grande abrangência geográfica nos anos setenta e oitenta. Por serem sistemas de uso bastante comum nos dias atuais, os alunos, após o ensino médio, possuem alguma noção de como estes sistemas funcionam. O funcionamento do sistema telefônico tradicional, baseado na técnica conhecida como comutação de circuitos, pode ser facilmente explicado pelos alunos a partir de seus estudos anteriores e dos conhecimentos do senso comum. Da mesma forma, o funcionamento dos sistemas de difusão de rádio e TV, os quais utilizam o ar como meio comum de transmissão e diferentes faixas de frequência para separar cada canal a ser transmitido, também são de conhecimento da maioria dos alunos. Entretanto, no que se refere às redes de computadores, a técnica de comutação de pacotes, principal tecnologia subjacente a este tipo de redes, não possui um entendimento intuitivo e não é simples de ser entendida sem que os alunos tenham um conhecimento prévio que permita relacioná-lo com esta técnica. Nesse sentido, o sistema postal pode ser tomado como uma boa analogia para redes de pacotes, e cada pacote de informação pode ser relacionado a uma carta, que deverá ser encaminhada desde a agência postal de origem até a agência do destinatário final da carta, podendo passar por diversas agências intermediárias. Portanto, o resgate do funcionamento desses três tipos de sistemas (o sistema telefônico, os sistemas de difusão e o sistema postal), pode ser tomado como um organizador prévio para iniciar o ensino das redes de computadores, permitindo aos alunos, posteriormente, descrever alguns conceitos básicos e diferenciar as tecnologias que caracterizam as redes de computadores

dos demais sistemas de telecomunicações.

Como atividade didática para implementar este organizador prévio, foi proposto, no primeiro encontro, após a introdução do objeto de estudo do curso, que os alunos se dividissem em grupos, ficando cada grupo responsável por levantar o funcionamento de um dos três tipos de sistemas: o sistema telefônico, os sistemas de difusão e o sistema postal. Após esse levantamento, cada grupo expôs o que foi levantado, abrindo uma discussão com o restante da turma no sentido de verificar se algum detalhe do funcionamento ficou pendente.

O trabalho em grupo exerceu um papel fundamental, pois, a princípio, como não houve uma instrução prévia destes tópicos, os alunos levantaram as informações a partir dos seus conhecimentos anteriores. O debate entre eles contribuiu para o enriquecimento das informações levantadas.

Como síntese do trabalho, as diferenças tecnológicas entre estes três tipos de sistemas foram evidenciadas pelo professor e comparadas com o conceito de comutação de pacotes usado nas redes de computadores. Como material de apoio, o mapa conceitual da figura 5.2 foi apresentado aos alunos.

Visão de uso das aplicações e visão geral da Internet

Neste tópico, contextualizamos e descrevemos algumas das atividades que foram realizadas no sentido de desenvolver com os alunos a visão de uso das aplicações de rede e dar uma visão geral da Internet, reunidas na primeira unidade do plano de ensino descrito no apêndice C.

De acordo com nossa proposta temática, ao iniciar um curso de redes de computadores, é importante que os alunos possam relacionar os assuntos que serão discutidos com aplicativos e ferramentas que utilizem no seu dia-a-dia. No nosso caso, é importante considerar a influência da Internet e suas aplicações no cotidiano dos alunos, bem como diagnosticar a experiência pessoal e os conhecimentos prévios de cada um com estas tecnologias.

Visando a motivação para o estudo, foi realizado, junto com os alunos, um levantamento das principais aplicações de rede, bem como das possíveis utilizações destas aplicações em atividades humanas. Foram também sugeridas aos alunos leituras e elaboração de um resumo comentado, como atividade extra-classe, sobre temas relacionados aos benefícios-malefícios das tecnologias da informação e comunicação na sociedade, como sugere o movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Em momento posterior, foi organizado um debate sobre estas questões.

No caso dos equipamentos de rede, além de computadores pessoais, foram levantados com os alunos outros dispositivos que podem ser utilizados como *hosts* da Internet ou das

redes de computadores. Hoje praticamente todo tipo de equipamento eletro-eletrônico está sendo adaptado para a conexão em rede, como, por exemplo, aparelhos celulares, automóveis, medidores de energia, eletrodomésticos etc. Observamos que este tipo de atividade desperta o interesse dos alunos, no sentido de avançarem no estudo das rede de computadores, e também pode servir de ponto de partida para elaborar questionamentos sobre as tendências do desenvolvimento tecnológico na área.

Como atividade prática foi realizada uma aula de laboratório, voltada ao uso das aplicações conhecidas pelos alunos, associada a pesquisa sobre os temas sugeridos para debate sobre CTS, e ainda uma verificação *in loco* do *hardware* de rede utilizado na infra-estrutura do laboratório, como cabeamento, adaptadores de rede e equipamentos de comunicação, como *hubs*, *switches* e roteadores.

A partir das aplicações de rede, foi realizado, junto com os alunos, um levantamento e uma classificação dos diversos protocolos que elas utilizam. Por exemplo:

- Os protocolos HTTP, FTP, SMTP, telnet etc, classificados como protocolos que dão suporte a aplicações específicas;
- Os protocolos TCP/IP, como protocolos da Internet que garantem a comunicação na rede mundial, independente de qual seja a aplicação que os utilize;
- Protocolos como o Ethernet, que dizem respeito a uma tecnologia específica de rede local, a qual pode também ser conectada à Internet etc.

Esta classificação permitiu estabelecer uma sistematização dos diferentes tópicos a serem desenvolvidos no estudo das redes de computadores.

Os conceitos gerais de protocolos de comunicação e comutação de pacotes foram introduzidos. Ajudou na compreensão destes conceitos o uso de analogias, como a que apresenta Kurose e Ross (2002, p. 6), relacionando os protocolos de comunicação com as regras de “boas maneiras” na comunicação entre pessoas, e a analogia entre a comutação de pacotes e o sistema postal, discutida anteriormente e resumida no apêndice D, seção D.1.

No sentido de avaliar aquilo que os alunos já sabem sobre redes de computadores, e em função do que foi discutido nas aulas iniciais, foi solicitado a eles um levantamento de dez conceitos sobre redes de computadores e a construção de um mapa conceitual relacionando estes conceitos. Na seção 5.2.4, apresentamos uma avaliação qualitativa desta atividade.

No que se refere às aplicações Internet, foram organizadas algumas aulas de laboratório voltadas ao uso das aplicações. Para o caso onde os alunos ainda não utilizavam determinadas aplicações, foi destacada a importância e utilidade das mesmas no seu trabalho acadêmico, por exemplo, a realização de pesquisa estruturada na *Web*, a manutenção de cópias

de segurança em servidores usando a aplicação de transferência de arquivos(FTP), o acesso remoto a servidores para manutenção do diretório pessoal ou leitura de *email* de forma rápida em modo texto etc. Para cada aplicação, foi destacada pelo professor a terminologia apropriada e os conceitos fundamentais envolvidos, como clientes e servidores, forma de endereçamento e nomes de domínio, mecanismos de autenticação e segurança, aplicativos agentes usuários, distribuições e versões, atraso e capacidade de transmissão requerida, etc.

Foi destacado também pelo professor que diferentes aplicações usam serviços comuns da rede. No caso da Internet, estes serviços são oferecidos pelo conjunto de protocolos TCP/IP. Por ser uma rede baseada na comutação de pacotes, tipo datagrama, o principal serviço de comunicação oferecido pela Internet é do tipo *melhor esforço* (*best effort*), implementado pelo protocolo IP. Para aplicações que requeiram uma comunicação livre de erros, a Internet dispõe de um serviço orientado a conexão, implementado pelo protocolo TCP, o qual roda sobre o IP.

Neste ponto, a técnica de comutação de pacotes e suas variantes, foi detalhada. Foram destacados os aspectos qualitativos que permitem diferenciar, por exemplo, as redes baseadas em datagramas e as redes baseada em circuito virtual.

Sobre o serviço orientado a conexão do TCP, uma das grandes questões a serem trabalhadas com os alunos neste ponto é a seguinte: Como prover uma transmissão de dados livre de erros, construída sobre um suporte do tipo *melhor esforço* (isto é, com a possibilidade de erros)? Como introdução a esse tema, foi utilizada a analogia proposta no apêndice D.2, onde se compara o serviço orientado a conexão do TCP com a compra de uma enciclopédia em fascículos, usando o serviço tipo melhor esforço dos correios.

Para sintetizar as discussões realizadas e mostrar explicitamente a relação entre os conceitos, foi fornecido aos alunos o mapa conceitual com a visão geral da Internet (figura 4.8, página 90), o qual faz parte da *organização do conhecimento* de redes de computadores apresentada na seção 4.4 e também disponível no *ambiente Web* apresentado anteriormente. Este mapa serviu também como parâmetro de comparação para que os alunos pudessem avaliar o mapa conceitual desenvolvido anteriormente por eles.

Na avaliação da unidade tratando das aplicações de rede, foi incluída a confecção de um mapa conceitual, a ser construído a partir de uma lista prévia de conceitos fornecida pelo professor. No final deste capítulo, avaliamos o uso dos mapas conceituais na avaliação da aprendizagem.

Arquitetura Internet

Dando seqüência às atividades programadas no plano de ensino do módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet, a seguir, descrevemos algumas das atividades

que foram realizadas para desenvolver a unidade relativa à arquitetura Internet.

Para iniciar a discussão da arquitetura Internet, um importante tópico a ser abordado é o conceito de camadas de protocolos, o qual provê diferentes níveis de abstração, através de serviços que são úteis em um número variado de situações e que podem ser implementados pelo sistema subjacente. Para auxiliar no entendimento conceitual desse tópico, a referência (Kurose e Ross, 2002, p. 49-52) traz uma interessante analogia de sistema organizado em camadas, descrevendo um hipotético sistema de aviação civil, formado por balcões de venda de passagens, balcões de checagem de bagagens, portões de acesso a aeronaves, controle de pouso e decolagens e roteamento da aeronave. No nosso caso, utilizamos uma analogia similar, continuando com a utilização do sistema postal como referência.

Após a atividade introdutória descrita no parágrafo anterior, foi utilizada a referência (Peterson e Davie, 2000, p. 29-35), a qual faz uma descrição qualitativa da arquitetura em camadas, usando uma estratégia mais diretamente relacionada com a arquitetura Internet: Enfatiza que diferentes programas de aplicação requerem serviços de mensagens comuns da rede. Estes serviços de mensagens são implementados por meio de canais processo-a-processo, os quais abstraem o fato de que a rede pode ocasionalmente perder ou corromper mensagens. Estes canais, por sua vez, dependem da conectividade *host-a-host*, implementada pela comutação de pacotes, abstraindo o fato de que pode haver uma topologia complexa entre dois *hosts*. Finalmente, os pacotes são admitidos na rede por meio de mecanismos de acesso ao meio físico, abstraindo detalhes do *hardware* de conexão utilizado. Um mapa conceitual ilustrando a arquitetura Internet (componente da *organização do conhecimento* de redes de computadores apresentada na seção 4.4) foi apresentado aos alunos no início deste tópico, servindo para organizar o conhecimento em discussão.

Relacionado com este tema, o modelo OSI foi também discutido. Aqui foi incluída a discussão dos aspectos históricos da padronização das redes pelos diversos organismos internacionais e também foram propostos textos para debate, relacionados aos fatores que levaram à consolidação das tecnologias atuais. Nesta mesma oportunidade, foi realizada uma discussão sobre a história das redes de computadores e da Internet. Para apoiar estes debates, utilizamos mapas conceituais sobre estes assuntos, como os que foram apresentados na seção 4.1, acessíveis a partir do *ambiente Web* apresentado anteriormente.

Toda essa discussão sobre camadas de protocolos, cada um provendo um serviço específico à camada superior, leva, necessariamente, à discussão de outro conceito fundamental para o entendimento das redes de computadores, que é a noção de encapsulamento de protocolos. Para discutir essa questão, realizamos, em uma aula especial, uma atividade de teatro, descrita no apêndice D.3, a qual faz a representação figurativa do conceito de encapsulamento de protocolos. Consideramos que este tipo de atividade pode ajudar no entendimento deste conceito, trazendo também descontração a sala de aula. Obviamente, não se quer aqui

substituir o rigor teórico que se exige em uma formação técnica. O que se busca é a assimilação de conceitos gerais, que permitam aos alunos posteriormente tratarem detalhes de uma tecnologia específica, relacionando com as idéias abordadas na situação representada. Observamos que esta atividade ficou presente na memória dos alunos durante o curso, tendo sido lembrada várias vezes por eles quando se referiam à questão do encapsulamento de protocolos.

Todas as atividades pedagógicas descritas nesta sub-seção tiveram como objetivo a descrição geral de alguns conceitos fundamentais envolvidos nas redes de computadores. Procurou-se abordar os diversos assuntos mantendo-se o foco nos temas de interesse imediato dos alunos e dos usuários de rede de uma forma geral, como a Internet e as aplicações, introduzindo cada conceito da maneira mais abrangente possível. Neste primeiro momento, a idéia era motivar os alunos a prosseguir nos estudos e criar uma estrutura de conceitos gerais e terminologias para ancorar as aprendizagens subseqüentes.

5.2.3 Aprofundamento de um tópico em sala de aula: transferência de dados garantida

Nesta sub-seção, descrevemos um exemplo onde um tópico específico relacionado às redes de computadores é apresentado aos alunos. Neste exemplo, procuramos conservar uma abordagem que vai do geral ao específico, contudo retomamos e aprofundamos um pouco mais alguns conceitos que haviam sido vistos anteriormente, procurando colocar em prática a idéia de *currículo espiral*.

O tópico escolhido é o problema da *transferência de dados garantida*, o qual faz parte do detalhamento dos protocolos da Internet TCP/IP, previsto nas atividades do plano de ensino do apêndice C. Este é um conceito de base para o entendimento das redes de computadores, e em particular da Internet, onde é implementado pelo protocolo TCP, sobre um suporte do tipo *melhor esforço* fornecido pelo protocolo IP.

Como os autores de redes de computadores tratam este problema

O problema da transferência de dados garantida é abordado por praticamente todos os autores da área de redes de computadores, cada um deles desenvolvendo o tema a seu modo. Kurose e Ross (2002) tratam desde tópico no capítulo referente à camada transporte, haja vista a intenção dos autores em focalizar os protocolos da Internet. Já Tanenbaum (2003) discute este problema na camada enlace, já que este é um serviço típico oferecido por diversos enlaces de comunicação, visando fornecer uma comunicação livre de erros de transmissão ocorridos no nível físico. Peterson e Davie (2000), por sua vez, ressaltam que a transferência

de dados garantida pode estar presente em mais de uma camada, afirmando que o melhor é discutir o assunto como um dos princípios de base das redes de computadores e não na especificidade de uma camada.

Como a implementação de mecanismos para uma transferência de dados garantida é, de certa forma, complexa, em particular se o interesse final for o protocolo TCP, os três autores citados procuram desenvolver uma abordagem que vai do simples ao complexo.

Kurose e Ross (2002, p. 201-228) desenvolvem este tema passo a passo, mostrando os diversos mecanismos e possibilidades para se implementar a transferência de dados garantida. A abordagem, ao mesmo tempo detalhada e em extensão, foge um pouco do foco no protocolo TCP da Internet, pretendido pelos autores, podendo inclusive tornar-se tediosa aos alunos. Os autores utilizam máquinas de estado finitas, entendidas com declarações próximas a linguagem C, para descrever os protocolos. Iniciam definindo um protocolo simples, funcionando sobre um canal perfeitamente confiável. Em seguida, aprimoram este protocolo, em duas versões, para funcionar sobre um meio que produz erros nos *bits* de dados, acrescentando mecanismos de detecção de erros e reconhecimento positivo e negativo, para indicar recepção livre de erros e com erros respectivamente. Depois, supondo que também as mensagens de reconhecimento possam ser corrompidas, o protocolo é aprimorado, incluindo a noção números de seqüência para os pacotes. Para o caso de perda de pacotes, o protocolo é novamente aprimorado, incluindo a noção de temporizadores (*timers*), chegando ao conhecido protocolo *bit-alternado*. Os princípios utilizados no conjunto de protocolos ilustrativos é então levado para protocolos conhecidos como *janelas deslizantes* (ou *pipeline*), que aumentam a eficiência da retransmissão a partir do envio de vários pacotes antes de um recebimento. Dois algoritmos de protocolos de janelas deslizantes são detalhados, o *Go-Back-N* e o *Selective Repeat*.

Tanenbaum (2003, p. 200-228) aborda o assunto de forma ligeiramente diferente, iniciando com o problema de evitar que o emissor envie dados rápidos demais ao receptor, definindo um protocolo simples que pára e espera por confirmação a cada pacote enviado (conhecido como protocolo *stop-and-wait*). Em seguida, avança para o caso da transmissão se dar sobre um canal de comunicação ruidoso, que produza erros ou perda de dados, definindo o protocolo *bit-alternado*. Depois discute os protocolos de janelas deslizantes, incluindo também os algoritmos *Go-Back-N* e *Selective Repeat*. Na nossa avaliação, Tanenbaum (2003) utiliza uma linguagem menos atrativa que Kurose e Ross (2002), com excesso de formalismos, descrevendo os algoritmos através de definições e códigos da linguagem C, o que pode desmotivar os alunos e dificultar o entendimento conceitual do problema.

Peterson e Davie (2000, p. 101-115) também usam uma estratégia que vai do simples ao complexo para abordar o problema da transferência de dados garantida. Todavia, os autores apresentam os algoritmos em linguagem natural, numa abordagem mais descritiva

e conceitual, usando diagramas de troca de mensagens, que, de forma bastante ilustrativa, descrevem as diversas faces do problema. Os autores iniciam a discussão do problema já considerando um canal que pode produzir erros e perda nos dados e a partir da combinação de dois mecanismos fundamentais – reconhecimentos e temporizadores (*timers*), facilmente assimiláveis pelos alunos. O protocolo *stop-and-wait* é apresentado primeiramente, a fim de mostrar a necessidade de números de sequência para os pacotes, levando ao protocolo *bit-alternado*. Depois, os autores discutem como melhorar a performance do protocolo *bit-alternado* com o mecanismo de *janelas deslizantes*.

Abordagem utilizada por nós

Segundo nosso interesse, assumimos a idéia de tomar a Internet como tema significativo central para o ensino das redes de computadores. Neste contexto, utilizar o TCP como protocolo exemplo para discutir este assunto pareceu-nos a melhor opção, sendo que, posteriormente relacionar-se-á o tema com outros protocolos que oferecem serviço similar.

A partir da análise do material apresentado nos livros-textos há pouco citados, acreditamos que o mais importante no aprendizado da transferência de dados garantida, neste momento do aprendizado e para o público em questão, seja seu entendimento conceitual e a verificação prática de seu funcionamento em um protocolo real. Assim, uma abordagem mais descritiva, como desenvolvida por Peterson e Davie (2000), pareceu-nos mais interessante.

Apoiados na *organização do conhecimento*, modelada por mapas conceituais, o primeiro passo para a abordagem deste tema foi situá-lo dentro do contexto geral das redes de computadores. Para tal, foi retomado o mapa conceitual com a visão geral da Internet (apresentado na figura 4.8, página 90), verificando seus principais componentes e situando o problema da transferência de dados garantida no todo. A transferência de dados garantida é o principal serviço fornecido pelo protocolo TCP, o qual suporta muitas das aplicações mais conhecidas da Internet, como a *Web*, o correio eletrônico ou a transferência de arquivos. Fica, portanto, evidente a importância dos conceitos que serão aprendidos.

Para auxiliar no detalhamento deste problema, também foi utilizado como organizador do conhecimento o mapa conceitual mostrado na figura 5.3, o qual mostra os principais conceitos relacionados com este tópico. Este mapa conceitual, assim como o próximo que será apresentado, também faz parte da *organização do conhecimento* de redes de computadores e pode ser obtido a partir do *ambiente Web* descrito na seção anterior. A análise desta figura dá uma idéia da multiplicidade de conceitos envolvidos neste problema. Estas técnicas e conceitos foram desenvolvidos somente neste ponto do andamento do programa, ou seja, no momento em que se fizeram necessários, como será mostrado a seguir.

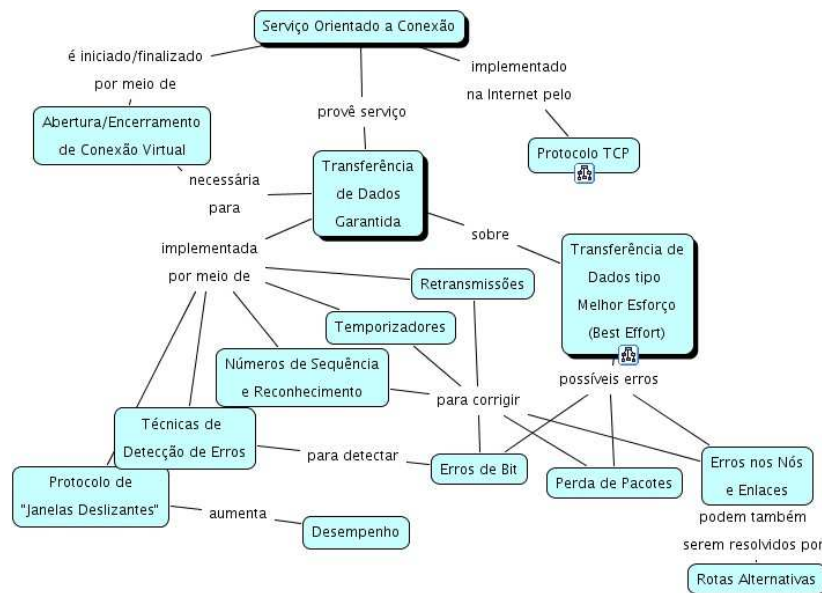


Figura 5.3: Mapa conceitual “nível 3”:Serviço orientado a conexão.

Um primeiro conceito detalhado foi o serviço tipo *melhor esforço*, sobre o qual foi construído o protocolo TCP. Aqui foram destacados as características deste tipo de serviço de comunicação, bem como os possíveis erros que podem ocorrer nos dados transmitidos, como mostra o mapa conceitual da figura 5.4, fornecido aos alunos no início da discussão deste assunto. Para cada mapa conceitual que é fornecido aos alunos, procura-se fazer uma apresentação mostrando como os diversos conceitos envolvidos no assunto em questão estão relacionados entre si.

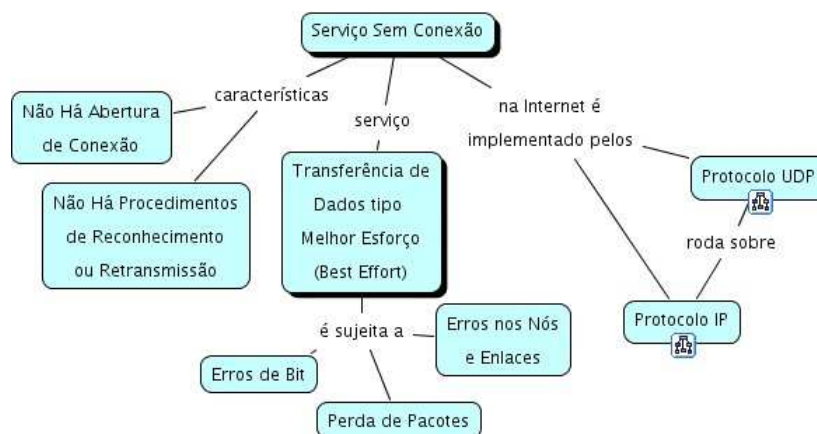


Figura 5.4: Mapa conceitual “nível 3”:Serviço não orientado a conexão.

Outro conceito desenvolvido neste ponto foram técnicas de detecção de erros. Estas técnicas são necessárias para que o protocolo possa verificar se o dado recebido chegou correto.

Aqui é preciso também ser dito que o estudo destas técnicas envolve diversos mecanismos, muitos deles complexos e cheios de detalhes. Todavia, como estamos iniciando o estudo dos protocolos que implementam o serviço de transferência de dados garantida, nos ativemos a uma única técnica, o *checksum*, a qual é utilizada pelos protocolos TCP/IP.

Para detalhar o funcionamento do mecanismo da transferência de dados garantida, utilizamos o material e as idéias de Peterson e Davie (2000, p. 101-115), comentadas há pouco, usando diagramas de troca de mensagens para ilustrar as diversas faces do problema. Uma aula de exercícios foi proposta, na qual os alunos trabalharam em duplas para analisar, completar e construir diversos diagramas de troca de mensagens, verificando e calculando os números de sequência, reconhecimento e temporizadores, incluindo diferentes possibilidades de erros nos dados trocados entre os dois *hosts* remotos.

Para a verificação prática do problema, tomando o protocolo TCP como exemplo, foram “capturados”⁴ experimentalmente pacotes de dados de uma conexão TCP, no caso de uma conexão *Web* entre um cliente e um servidor da Internet. A partir dos pacotes capturados foram traçados os diagramas de troca de mensagens entre os dois *hosts* e analisadas as características dos mecanismos que implementam a transferência garantida, como os números de sequência e reconhecimento.

Note-se que anteriormente já havíamos feito uma introdução ao problema da transferência de dados garantida, comentado na seção anterior, quando trabalhamos a analogia da enciclopédia (descrita no apêndice D.2). Agora rediscutimos o mesmo problema, com mais um nível de profundidade, colocando em prática a idéia de *currículo espiral*.

Julgamos que o estudo de algoritmos como o *Go-Back-N* e *Selective Repeat*, bem como o detalhamento de sua implementação, poderiam ser tratados em cursos mais avançados, por exemplo, voltados ao desenvolvimento de tecnologias e aplicações de rede.

5.2.4 Avaliação da aprendizagem

Durante o desenvolvimento em sala de aula do módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet, descrito na seção anterior, os mapas conceituais foram utilizados tanto no início da discussão de um assunto, funcionando como organizadores do conhecimento, quanto no final, como ferramenta de síntese do que foi discutido. Além disso, foram também utilizados como ferramenta de aprendizagem e avaliação, quando os alunos construíram os próprios mapas. Neste último caso, os mapas conceituais serviram também como

⁴Existem vários programas que permitem a captura de pacotes circulando em uma rede local, como o *tcpdump*, nos sistemas Unix/Linux, disponível também para outros sistemas operacionais, além de outros aplicativos comerciais com fins similares.

instrumento para realimentar o professor sobre a aprendizagem dos alunos, como veremos a seguir.

Na primeira ocasião em que os mapas conceituais foram utilizados como ferramenta de avaliação, a idéia era verificar o que os alunos já sabiam sobre redes de computadores, considerando também o que foi discutido nas aulas iniciais. Foi solicitado aos alunos um levantamento de dez conceitos sobre redes de computadores e a construção de um mapa conceitual relacionando estes conceitos. Para que esta atividade pudesse ser executada pelos alunos, foi realizada uma apresentação dos mapas conceituais e a construção conjunta de um exemplo simples para ilustrar o processo. As figuras 5.5 e 5.6 mostram dois mapas conceituais, construídos pelos alunos AR e CH, respectivamente. O mapa da figura 5.5 mostra a ausência de vários conceitos importantes, como aplicações de rede, comutação de pacotes, protocolos de comunicação, etc. A estrutura hierárquica do mapa é pobre, sendo que os conceitos não estão organizados segundo uma *diferenciação progressiva*. Além disso há erros conceituais. Já o mapa da figura 5.6 agregou mais conceitos, muitos dos quais relacionados corretamente, havendo contudo alguns erros conceituais, como o que relaciona o conceito *TCP* com meio físico. Há uma *diferenciação progressiva* dos conceitos, contudo a organização hierárquica é linear, o que, segundo Gouveia e Valadares (2004), caracteriza uma estrutura hierárquica pobre.

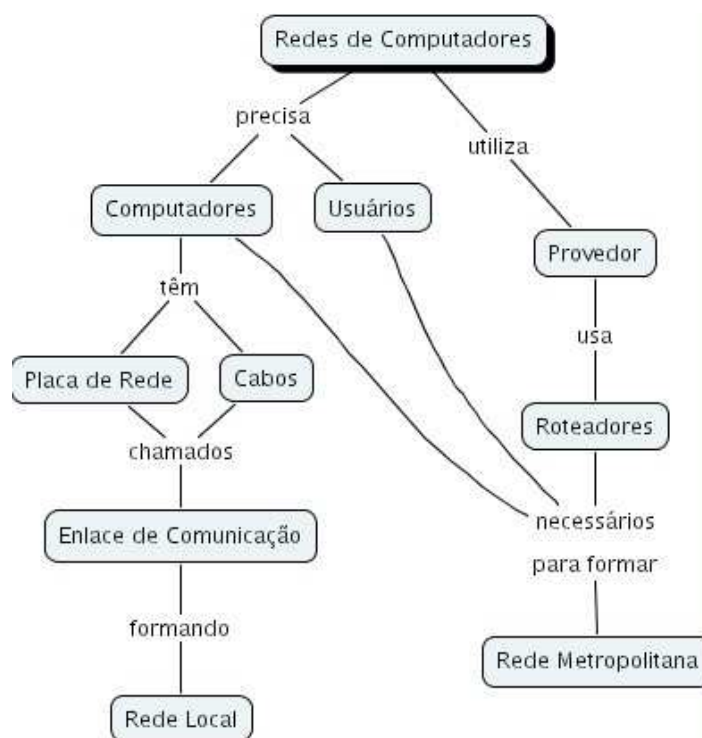


Figura 5.5: O que é uma rede de computadores e a Internet – Aluno AR.

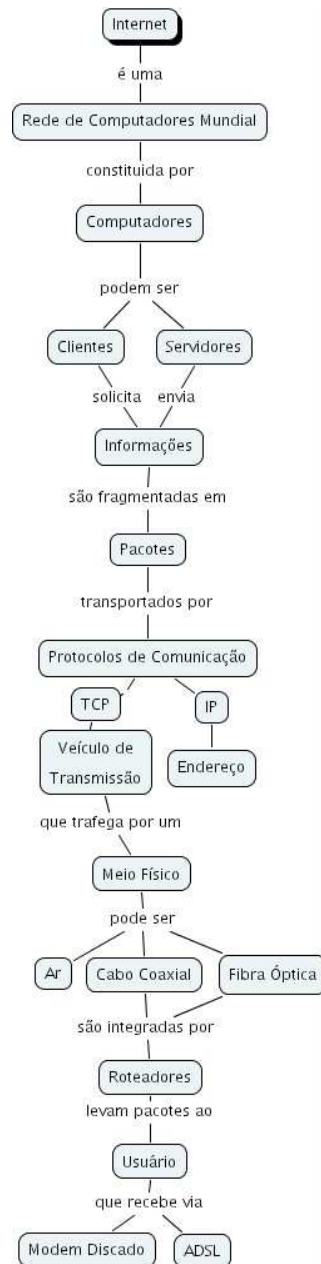


Figura 5.6: O que é uma rede de computadores e a Internet – Aluno CH.

Uma segunda atividade voltada à avaliação da aprendizagem, na qual utilizamos mapas conceituais, foi no fechamento do assunto tratando das aplicações de rede, constante no plano de ensino do apêndice C. Foi incluída na avaliação a confecção de um mapa conceitual, a ser construído individualmente pelos alunos a partir de uma lista prévia de 12 conceitos fornecida pelo professor. Esta lista continha os seguintes conceitos: Protocolos de Aplicação, Protocolos de Transporte, WWW, Email, FTP, VoIP, Cliente, Servidor, HTTP, SMTP, TCP, UDP, IP, *Host*, Pedido/Resposta e Fluxo de dados tempo real. As figuras 5.7 e 5.8 mostram dois mapas conceituais, construídos pelos alunos AR e CR, respectivamente, durante esta atividade. A figura 5.7 foi construído pelo mesmo aluno (AR) que construiu o mapa da figura 5.5. O mapa mostra uma melhora considerável em relação ao mapa anterior: os conceitos estão melhor hierarquizados; há ligações cruzadas entre alguns conceitos importantes, como WWW e HTTP, email e SMTP, mostrando uma boa compreensão; não há erros conceituais. Nota-se a ausência de uma hierarquização em camadas dos protocolos, o que é de certa forma natural, pois este conceito ainda não havia sido abordado neste ponto do desenvolvimento do programa. Já o mapa da figura 5.8, do aluno CR, mostra uma compreensão pobre do problema solicitado: não há uma organização hierárquica dos conceitos, os conceitos não estão ligados corretamente e alguns conceitos não foram incluídos.

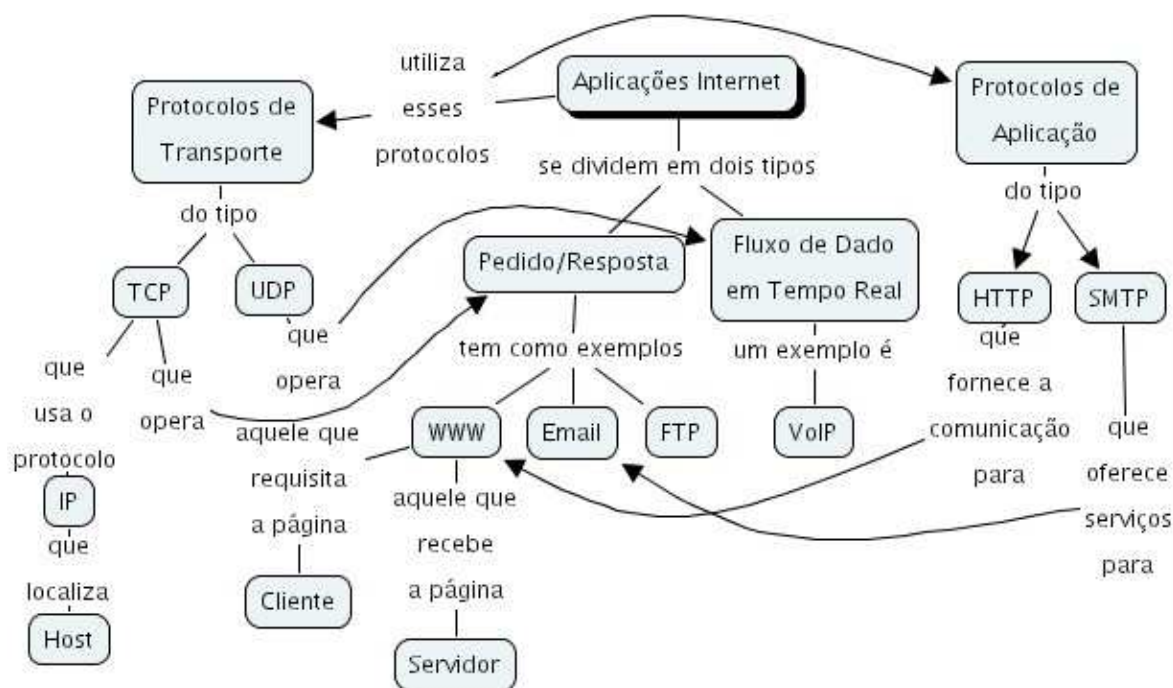


Figura 5.7: Aplicações Internet – Aluno AR.

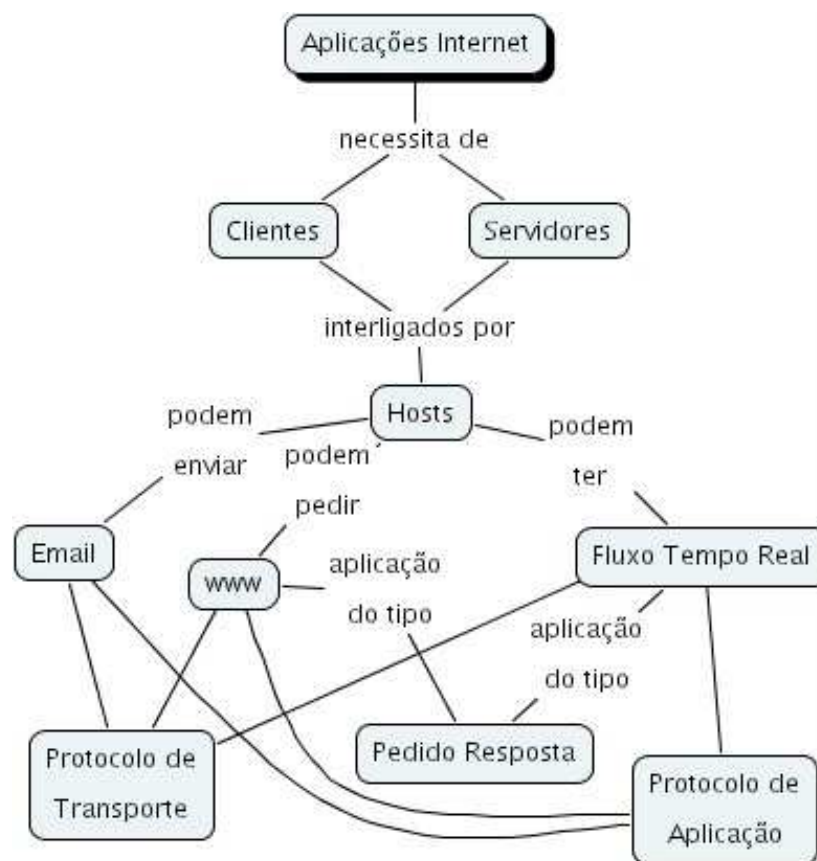


Figura 5.8: Aplicações Internet – Aluno CR.

Posteriormente, durante o desenvolvimento da unidade do programa tratando dos protocolos da Internet TCP/IP, foi realizada uma nova avaliação sobre as aplicações de rede. Junto com esta avaliação, foi solicitada a confecção de outro mapa conceitual, agora visando caracterizar a aplicação WWW, também a ser construído a partir de uma lista de conceitos. Nesta ocasião, os conceitos fornecidos foram: Cliente Web, Servidor Web, Página Web, Pedido/Resposta, HTTP, HTML, URL, TCP, IP e Navegador. As figuras 5.9 e 5.10 mostram dois mapas conceituais, construídos pelos alunos CR e EV, respectivamente, durante esta atividade. A mapa da figura 5.9 foi construído pelo mesmo aluno (CR) que construiu o mapa da figura 5.8. Nota-se uma melhora considerável na qualidade do mapa, podendo-se perceber, inclusive, a noção de camadas de protocolos, a qual neste ponto já havia sido abordada. O mapa da figura 5.10, construído pelo aluno EV, também mostra um bom entendimento do problema solicitado.

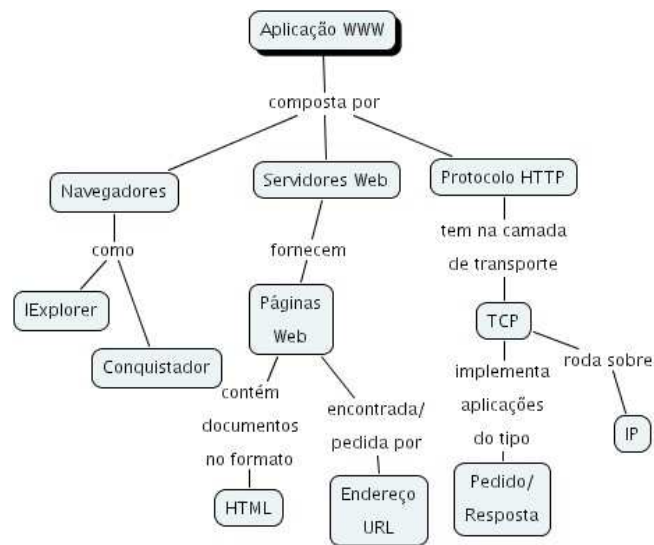


Figura 5.9: Aplicação WWW – Aluno CR.

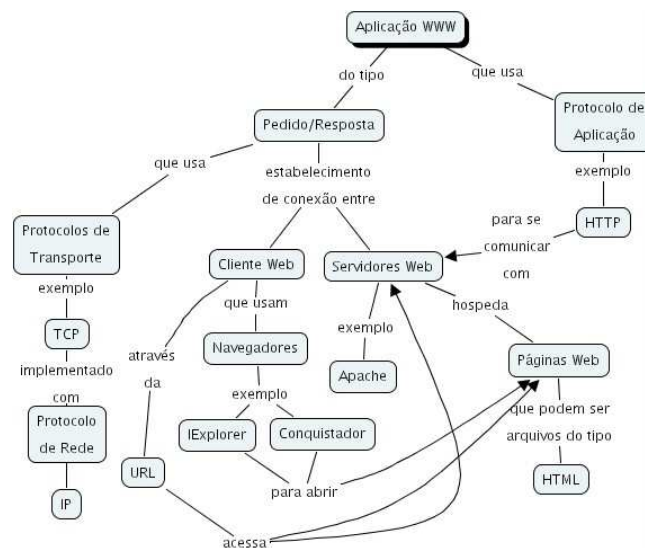


Figura 5.10: Aplicação WWW – Aluno EV.

Comentários sobre o uso dos mapas conceituais na avaliação da aprendizagem

Na primeira ocasião em que utilizamos os mapas conceituais como ferramenta de avaliação, o objetivo era apenas diagnosticar aquilo que os alunos já sabiam sobre redes de computadores. Analisando os mapas produzidos pelos alunos, concluímos que a atividade não conseguiu atender os objetivos propostos. Dois fatores contribuíram para isto. Primeiro, como foi o primeiro contato dos alunos com os mapas conceituais, a dificuldade e as dúvidas maiores estavam mesmo na utilização desta ferramenta. Em segundo lugar, a própria novidade do assunto em discussão, no caso as redes de computadores, cujos conceitos de base, para muitos, eram totalmente novos, também dificultou a construção dos mapas.

Nas duas outras ocasiões em que os mapas conceituais foram utilizados como ferramenta de avaliação, as atividades de avaliação de aprendizagem realizadas consistiram de três partes: a primeira com questões objetivas, a segunda com questões discursivas e a terceira envolvendo a confecção de um mapa conceitual. De um modo geral, podemos dizer que os alunos que responderam bem às duas primeiras partes da prova, também construíram bons mapas. Em particular, observamos que os melhores alunos foram progressivamente aprimorando a qualidade dos mapas produzidos ao longo do curso. Isto nos leva a crer que os mapas podem ser utilizados como ferramenta de avaliação, complementando as avaliações tradicionais, além de serem uma poderosa ferramenta de aprendizagem. Ademais, observamos que os alunos com melhor desempenho e interesse construíam seus mapas conceituais com grande facilidade, demonstrando prazer na realização da atividade. O contrário foi observado no trabalho dos alunos em dificuldade, ou que não se haviam preparado para a avaliação. Para esses, a construção dos mapas era colocada como um problema. Mesmo com consulta ao material, não conseguiram construir mapas adequados, ficando explícito que não tinham um bom entendimento conceitual da matéria.

Estes resultados de avaliação, utilizando mapas conceituais, permitiram-nos também ter uma noção do nível médio de aprendizagem da turma, assim como dos alunos individualmente. Portanto, podem realimentar o trabalho do professor, resultando em novas ações, como a revisão ou o aprofundamento de alguns pontos, com toda a turma, ou com alguns alunos apenas.

5.2.5 Conclusões sobre a aplicação das propostas educacionais apresentadas neste exemplo

Neste exercício de aplicação no ensino-aprendizagem de redes de computadores, primeiro, apresentamos o planejamento do programa a ser seguido no módulo de formação em questão, tendo como ponto de partida uma proposta temática e a *organização do conhecimento* de redes de computadores, modelada por *mapas conceituais*. A seguir apresentamos

o desenvolvimento em sala de aula deste programa procurando aplicar diferentes aspectos das propostas educacionais apresentadas neste trabalho. Entre outras atividades, exemplificamos o uso de organizadores prévios, como material preparatório para a introdução do conceito de comutação de pacotes, um dos conceitos subjacentes mais importantes das redes de computadores. Mostramos como desenvolver os diferentes tópicos sempre do geral ao específico, utilizando analogias e outras atividades com o objetivo de facilitar o entendimento conceitual pelo maior número possível de alunos. Procuramos combinar diferentes materiais didáticos, de vários autores, visando diversificar as aulas e realizar atividades práticas sempre em torno de aplicações reais, tendo como suporte a Internet e uma rede local de computadores. Também mostramos como trazer à tona a discussão da relação entre a tecnologia e a sociedade, utilizando textos e estimulando os alunos formar uma idéia a respeito da questão, estimulando o pensamento crítico e criativo.

No que diz respeito aos mapas conceituais e à *organização do conhecimento* de redes de computadores, os mesmos foram utilizados, em várias situações: como organizadores do conhecimento para apresentar e desenvolver um tema, mostrando a relação entre os diferentes conceitos que compõem este tema e aprofundando cada um deles, se necessário, sem perder a relação com o todo; como síntese de uma unidade, integrando os conceitos discutidos anteriormente; e também, como ferramenta de aprendizagem e avaliação, quando os alunos construíram os próprios mapas. Neste caso, os mapas conceituais serviram também para realimentar o trabalho do professor. Além disto, procuramos aplicar a idéia de *currículo espiral*, sendo vários conceitos fundamentais de redes de computadores discutidos em diferentes momentos do curso, cada vez com maior grau de detalhes e profundidade.

Consideramos bastante positiva a aplicação dos mapas conceituais na organização do conhecimento a ser trabalhado em sala de aula. Além do apoio nas exposições realizadas pelo professor, ou como síntese do que foi discutido, observamos, posteriormente, vários alunos fazendo uso dos mapas a eles fornecidos, como ferramenta para organizar seu estudo individual. Também observamos uma situação onde alguns alunos estavam aplicando, de forma autônoma, os mapas conceituais para organizar uma síntese sobre um assunto de outro módulo de formação, ficando claro, portanto, que esses alunos perceberam que os mapas conceituais podem ser aplicados em qualquer domínio de conhecimento.

Também avaliamos como positiva a utilização dos mapas conceituais como ferramenta de avaliação da aprendizagem. A partir do momento em que os alunos começam a dominar o manuseio desta ferramenta, a análise dos mapas produzidos por eles permitiu mostrar, claramente e sem grande esforço, o quanto os mesmos estavam tendo um entendimento conceitual da matéria; o que não é tão evidente de ser observado por meio de perguntas pontuais sobre os tópicos em estudo. Apesar de ser uma forma de avaliação bastante “aberta”, a verificação de eventuais erros conceituais e do entendimento geral do problema é direta. Isto permite ao professor, ao longo do caminho, corrigir a trajetória de ensino-aprendizagem, replanejando

a formação, repetindo tópicos, introduzindo novos exemplos ou atividades, e reorientando os estudantes. Além disso, como cada aluno toma seu próprio caminho durante a construção de seu mapa conceitual, a questão da “cola” fica praticamente inviabilizada, ou se mostra também evidente ao professor.

A confecção de mapas conceituais exige dos alunos uma visão sistêmica do problema que estão procurando modelar, na qual os diversos conceitos envolvidos precisam ser situados em relação ao todo e relacionados entre si. Para a execução dessa tarefa não há um caminho único a seguir e nem o resultado final deve ser avaliado tomando-se exclusivamente em comparação um mapa referência. Cada indivíduo pode seguir seu próprio caminho e o mapa resultante de seu trabalho pode ser completamente diferente dos demais. Mesmo assim, diferentes mapas conceituais sobre o mesmo assunto podem ter uma avaliação positiva. No capítulo 3, sub-seção 3.4.3, descrevemos alguns critérios que podem ser utilizados para orientar o professor na avaliação dos mapas conceituais produzidos pelos alunos. Julgamos ainda que, a partir da forma explícita como os diversos conceitos são ligados, os mapas conceituais ajudam a diminuir o grau de subjetividade nas avaliações. Lembramos que o caráter subjetivo também está presente nas avaliações tradicionais, por exemplo, aquelas formadas por questões dissertativas ou voltadas à resolução de um problema, nas quais o professor pode considerar, subjetivamente, a “linha de raciocínio” tomada pelo aluno.

Como avaliação da aplicação destas propostas educacionais, considerando o exemplo descrito nesta seção, alguns pontos podem ser destacados. Do ponto de vista do professor, o fato de trabalhar os conteúdos do módulo de formação em torno de temas de grande interesse, como a Internet e as aplicações de rede, facilitou muito o trabalho de justificar e motivar o estudo dos diferentes conhecimentos. Também a forma de desenvolver os temas, indo do geral ao específico, permitiu a “inserção” no aprendizado de um maior número de alunos, em particular, considerando a experiência de trabalho do professor em cursos técnicos de nível médio, onde o público é bastante heterogêneo e muitos alunos têm grandes dificuldades em acompanhar o estudo de temas complexos.

Conforme afirma Holton (1979), comentando sobre a aplicação de uma nova abordagem metodológica voltada ao ensino de física, “os melhores alunos provavelmente sobreviverão a quase qualquer tipo de método usado no planejamento do curso, embora o bom ensino não seja desperdício com eles – pode, pelo contrário, ser realmente compensador”. O grande problema pedagógico, portanto, estaria centrado na parte, geralmente majoritária, dos alunos com capacidade escolar mediana, com características heterogêneas, para os quais uma metodologia alternativa pode fazer a diferença. Como ressalta Holton (1979), talvez o principal traço que os estudantes têm em comum, neste âmbito, seja o interesse em que o curso torne explícito o que os especialistas supõe tacitamente: que a ciência, e no nosso caso também a tecnologia, tem um impacto sobre a vida e o pensamento, sendo, portanto, uma força cultural com enorme potencial de transformação.

Entretanto, entre as idéias colocadas por uma proposta educacional alternativa como esta e a sua aplicação em um curso real, há um longo caminho. Seu sucesso depende, sobretudo, da ação e do trabalho criativo do professor em planejar as atividades e escolher os materiais didáticos apropriados, além da disposição dos alunos em aprender. Nesse sentido, acreditamos que a implementação destas propostas educacionais poderá ser aprimorada, a cada nova oportunidade de aplicação, à medida que o professor vai tendo realimentação do trabalho realizado anteriormente, criando novos mapas conceituais, novos materiais, novos instrumentos de avaliação etc. Além disso, a troca de experiências entre diferentes professores pode contribuir com novas idéias e com o enriquecimento dos materiais de apoio disponíveis. Desta forma, o *ambiente Web*, descrito na primeira seção deste capítulo, pode contribuir, servindo como espaço de troca entre diferentes usuários, o que é particularmente importante em uma área com forte dinâmica como a de redes de computadores.

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas

O objetivo deste trabalho foi apresentar um conjunto de propostas educacionais, com vistas a fortalecer a mediação docente na educação tecnológica, e aplicá-las ao caso do ensino-aprendizagem de redes de computadores.

O estudo deste tema teve como motivação inicial as dificuldades encontradas no ensino e na aprendizagem de redes de computadores. A matéria redes de computadores é formada por um extenso e complexo conjunto de conceitos, que, dependendo da forma como for organizado e desenvolvido no ambiente escolar, pode impor dificuldades, tanto à motivação, como ao aprendizado de seus fundamentos.

Durante o período de desenvolvimento e expansão das redes de computadores, em particular nos anos 1980 e 1990, os cursos voltados a esta matéria eram, em geral, fortemente baseados no elenco de conteúdos tecnológicos da área, envolvendo vários padrões, protocolos e tecnologias.

Apesar na novidade e do fascínio que as redes de computadores pudessem despertar no início de um curso, muitas vezes, o que se observava, com algumas exceções, era uma certa decepção com o tema, a partir do momento em que se mergulhava no monótono estudo padrões e protocolos, muita vezes, não relacionado com aplicações reais de rede.

Com o sucesso da Internet, a partir da segunda metade dos anos 1990, começamos, cada vez mais, a sentir um certo desconforto na montagem de cursos na área. Observávamos um interesse crescente pelas redes de computadores, em particular dos usuários, das mais variadas áreas do conhecimento, todavia os cursos continuavam, normalmente, sendo conduzidos nos mesmos moldes.

As primeiras idéias que tivemos de mudanças na forma de organização dos cursos foi no sentido de centrar a aprendizagem em torno daquilo que estivesse próximo do interesse e do dia-a-dia dos usuários de rede: começar discutindo as aplicações fim; organizar o elenco

de conteúdos, tendo como suporte a arquitetura de protocolos mais utilizada no momento, a arquitetura Internet, e procurar desenvolver os *conceitos fundamentais* subjacentes a esta arquitetura; avançar no estudo dos protocolos como se estivéssemos “descascando uma cebola”, iniciando pela camada externa (dessa “cebola”), envolvendo conceitos mais gerais e abrangentes e avançando em direção ao núcleo, cada vez com maior grau de especificidade. Note-se que esta idéia para estudar a arquitetura de redes é diferente da idéia de explorar a *pilha de protocolos* das redes de computadores, uma a uma, de baixo para cima, como normalmente era feito nos livros-textos disponíveis na época.

A partir do ano 2000, quando iniciamos o estudo deste tema, tivemos alguns encontros importantes com o pensamento de autores, tanto da área da educação, onde estávamos adentrando pela primeira vez, como da área de redes de computadores. O primeiro grande encontro foi com a aplicação das idéias envolvidas no *ensino temático*, proposto inicialmente por Paulo Freire, na educação científica e tecnológica. Diversos estudos, muitos relacionados ao ensino de física, já citados neste trabalho, tinham como fundamento estas idéias. O objetivo principal, no caso da Física, era desenvolver seu ensino em torno de temas que fizessem parte do universo cultural dos alunos, orientando o ensino sempre a partir de elementos do cotidiano, formulando os princípios gerais da Física tendo em vista sua utilidade e a disseminação de seu uso. Era isto que estávamos imaginando para a área de redes de computadores. Portanto, essas idéias nos incentivaram a continuar o trabalho nesta linha.

O segundo grande encontro foi com o livro de redes de computadores de Kurose e Ross (2000). Estes autores introduziram uma nova perspectiva para o estudo das redes de computadores a partir da adoção de uma nova abordagem, por eles chamada de *abordagem top-down* com o foco na Internet. Nessa abordagem, inicia-se o estudo a partir de uma visão geral das redes de computadores, focalizando a Internet e explorando as camadas de protocolos de forma descendente, começando pela camada superior, a camada aplicação, e depois descendo pela pilha de protocolos até a camada física. As abordagens utilizadas nos livros-textos, até então publicados, em geral, exploravam as camadas de forma ascendente, iniciando pela camada inferior. As aplicações, muitas vezes, não eram tratadas nos cursos, fosse por falta de tempo, já que eram deixadas para o final, fosse porque não havia interesse em abordá-las nos cursos. Esta nova perspectiva colocada por Kurose e Ross (2000) influenciou-nos enormemente, pois inicia a partir das aplicações de rede, que são o principal interesse dos usuários de redes de computadores, e traz embutida a idéia de foco na Internet, aproximando-se das idéias colocadas pela *abordagem temática* de Freire.

Para aprofundar essas idéias e buscar elementos teóricos para fundamentar nossas propostas educacionais para educação tecnológica, vários autores foram trabalhados. Tomamos como hipóteses iniciais, para a escolha destes autores, a idéia de que os aprendizes adquiram novos conhecimentos a partir do que já sabem, seja por experiências vividas, seja por aprendizagens anteriores. Também consideramos importante que fossem levados em conta,

durante a aprendizagem escolar, os *conhecimentos fundamentais* da área em estudo, em particular no caso da área de redes de computadores, que é influenciada por mudanças tecnológicas contínuas. Por fim, além da aquisição de conhecimentos científicos e técnicos, consideramos também como importante, durante a formação, que fossem desenvolvidos nos alunos outras qualidades, como as que incluem a discussão do balanço entre tecnologia e sociedade, em particular em áreas com grande influência no modo de vida das pessoas, como é o caso das redes de computadores. Desta forma, no capítulo 2, foram apresentadas várias contribuições da educação e de outras áreas do conhecimento, como a Epistemologia e Ciência, Tecnologia e Sociedade, que vêm ao encontro dessas idéias. Entre essas contribuições, estão: a) a *abordagem temática*, comentada há pouco, a qual proporciona uma nova maneira de selecionar os conhecimentos que serão abordados na formação escolar, além de impulsionar a motivação dos alunos e abrir espaço para a discussão do balanço entre tecnologia e sociedade; b) a *aprendizagem significativa*, proposta por David Ausubel, a qual pode ser utilizada como guia de orientação na organização do conhecimento a ser ensinado ou aprendido, em particular para organizar os grandes corpos de conhecimento necessários para a formação científica e tecnológica; e c) as idéias sobre *estrutura e currículo espiral*, apresentadas pelo educador Jerome Bruner, que trazem sugestões sobre como facilitar e consolidar a aprendizagem dos *conceitos fundamentais* da matéria em estudo. Estas contribuições, portanto, foram escolhidas como os eixos principais de nossas propostas para a educação tecnológica, e, no nosso caso, para o ensino-aprendizagem de redes de computadores. Este envolve a questão do planejamento de cursos, o desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula e também aspectos voltados à avaliação da aprendizagem.

No sentido de facilitar a implementação destas propostas educacionais, utilizamos o suporte dos *mapas conceituais*, apresentados no capítulo 3, os quais são a principal ferramenta da *aprendizagem significativa*, utilizados neste trabalho para modelar e organizar os conhecimentos de redes de computadores.

Os mapas conceituais têm sido utilizados em diversas aplicações educacionais, sendo bastante apropriados para a organização de corpos de conhecimento complexos, como os encontrados nas áreas científicas e tecnológicas. São freqüentemente usados para o planejamento curricular, para organização do conhecimento no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula e também como ferramenta de aprendizagem e avaliação. Com o auxílio desta ferramenta, os conhecimentos são organizados de forma hierárquica, com os conceitos mais gerais e inclusivos posicionados no topo da estrutura e os mais específicos nos níveis inferiores. Esta organização facilita o planejamento e o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, indo do geral ao específico, que era uma de nossas idéias intuitivas que serviram de ponto de partida para este trabalho, no qual os conceitos mais gerais servem como âncora às aprendizagens subsequentes.

Assim, com a ajuda dos mapas conceituais, construímos uma proposta de *organização*

do conhecimento alternativa para redes de computadores, apresentada no capítulo 4. Para construí-la, primeiro fizemos um levantamento dos *conceitos fundamentais* de redes de computadores, os quais não poderiam faltar na organização pretendida, buscados a partir de uma análise do histórico das tecnologias associadas a esse domínio. Também foram avaliadas as abordagens didáticas e as formas de organização utilizadas nos principais livros-textos da área, apontando suas qualidades e possíveis problemas que podem acarretar no ensino-aprendizagem. Por fim, para selecionar e justificar o conjunto de conhecimentos a serem incluídos na *organização do conhecimento* de redes de computadores, as idéias da *abordagem temática* foram utilizadas, procurando-se centrar o foco em torno de tecnologias e aplicações de rede de uso corrente, com grande influência no dia-a-dia da sociedade.

No que se refere aos livros-textos, temos observado que os mesmos têm sido utilizados, muitas vezes, como único material didático pelos professores, minimizando o trabalho de produzir material didático e decidir sobre a prática pedagógica. Entretanto, como afirmam Delizoicov et al. (2003), o professor tem um papel organizador e criativo na condução das atividades pedagógicas. Assim, quanto maior for seu acesso a alternativas de materiais didáticos, maior será a oportunidade de encontrar os mais adequados, assumindo a responsabilidade pelas escolhas e adaptações, ou criando novas alternativas se julgar necessário. Além disso, julgamos que a organização em capítulos, tópicos e sub-tópicos dos livros-textos, impõe um ritmo linear para o desenvolvimento dos conteúdos, dificultando uma abordagem dos conceitos que vá do geral ao específico, como sugere a *aprendizagem significativa*. Da mesma forma, falta também algo que permita mostrar, explicitamente, como cada tópico em estudo se relaciona com os demais para dar forma ao todo. Assim, a estrutura dos mapas conceituais, modelando a *organização do conhecimento* de redes de computadores, pode servir como o suporte que faltava para orientar o ensino-aprendizagem desta matéria.

O conjunto de mapas conceituais que compõem a *organização do conhecimento* de redes de computadores, apresentado parcialmente no capítulo 4, também está acessível a partir do *ambiente Web* apresentado no capítulo 5. Esta hierarquia de mapas conceituais representa a visão deste autor sobre os conhecimentos de redes de computadores. Esses mapas conceituais podem ser utilizados como subsídio em atividades acadêmicas, ou adaptados segundo a visão e as necessidades específicas dos utilizadores.

Além da *organização do conhecimento* em si, outra coisa interessante seria os professores disporem de um banco de materiais didáticos, alternativos aos livros-textos, que pudessem ser utilizados a seu critério nas atividades de ensino-aprendizagem. A partir do trabalho com ferramentas educacionais voltadas à construção de mapas conceituais, em particular as ferramentas IHMC Cmap Tools¹, disponíveis gratuitamente para uso acadêmico, esta alter-

¹**IHMC Cmap Tools** é um conjunto de ferramentas que facilita a construção, manipulação e publicação na *Web* de *mapas conceituais*, desenvolvidas pelo Institute for Human and Machine Cognition (University of West Florida, USA). <http://cmap.coginst.uwf.edu>

nativa se mostrou plenamente factível. Com a ajuda dessas ferramentas, uma *organização do conhecimento* de redes de computadores foi disponibilizada na *Web* e ligada a materiais didáticos e outras informações e mídias, formando o que chamamos de *modelo de conhecimento* de redes de computadores. O objetivo deste *ambiente Web*, apresentado no capítulo 5, é oferecer aos professores subsídios para poderem aplicar as propostas educacionais sugeridas neste trabalho, ou partes dela. O ambiente pode ainda ser utilizado no planejamento de cursos na área de redes de computadores, como apoio no desenvolvimento do ensino-aprendizagem em sala de aula, ou ainda, como informação de referência em atividades voltadas à avaliação da aprendizagem.

A aplicação desses novos meios de selecionar e organizar o conhecimento tecnológico depende da vontade e da ação do professor. Não existem receitas prontas a serem seguidas de modo estrito. O que pretendemos neste trabalho não é impor um método supostamente mais eficiente que os demais, mas, sim, oferecer aos professores subsídios para possam, a seu critério, utilizá-los para aprimorar sua atividade docente. Além disso, procuramos fundamentar as idéias apresentadas da melhor maneira possível, a partir das contribuições da educação e de outros trabalhos correlatos voltados à educação científica e tecnológica.

Como exercício de aplicação, planejamos e desenvolvemos um módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet, apresentado no capítulo 5, dentro do programa do Curso de Telecomunicações do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Unidade São José.

A experiência realizada, contudo, somente nos permitiu tecer alguns comentários qualitativos sobre a forma de planejamento, desenvolvimento em sala de aula e avaliação no módulo de formação em questão. O sucesso de uma nova proposta educacional, seja ela qual for, depende, sobretudo, da ação e do trabalho criativo do professor em planejar as atividades didáticas e escolher os materiais de apoio, assim como da disposição dos alunos a aprender. Acreditamos ser inapropriado, além de difícil, realizar uma avaliação quantitativa de diferentes abordagens metodológicas, a partir de testes comparativos dos resultados obtidos em termos de aprendizagem dos alunos. Em geral, há muitos fatores subjetivos envolvidos, e os resultados podem não refletir todos os aspectos que deveriam ser considerados. Dessa forma, preferimos apostar nos fatores de cunho epistemológico, que embasam as propostas educacionais escolhidas. Apostamos em ganhos conceituais de longo prazo e menos em aspectos quantitativos envolvidos em teorias e tecnologias, que podem, em alguns casos, tornar-se obsoletas em um curto espaço de tempo.

Também devemos considerar que qualquer nova iniciativa educacional necessita algum tempo para ser ajustada à forma de trabalho do professor, em particular no que se refere ao desenvolvimento em sala de aula de atividades pedagógicas não tradicionais. Assim, acreditamos que a implementação destas propostas poderá ser aprimorada ao longo do tempo, à

medida que o professor vá tendo realimentação do trabalho realizado anteriormente, além do acesso a novos materiais didáticos, incluindo a criação e adaptação dos mesmos a situações particulares. Também a troca de experiências entre diferentes professores pode contribuir com novas idéias e com o enriquecimento dos materiais de apoio disponíveis.

Para os próximos semestres letivos, pretendemos continuar com a aplicação e o aprimoramento das propostas educacionais apresentadas neste trabalho. Além de aplicá-las em novas turmas do módulo de formação comentado há pouco, estamos planejando uma disciplina de redes de computadores, dentro do currículo do Curso Tecnólogo em Telefonia e Redes Multimídia do CEFET/SC em São José. Além disso, pretendemos dialogar com outros professores, no sentido de apresentar as propostas aqui descritas e trocar experiências relacionadas com ensino-aprendizagem de redes de computadores.

Nesta linha, apontamos as perspectivas futuras deste trabalho. Como apoio, pretendemos aperfeiçoar o protótipo de *ambiente Web* voltado ao ensino-aprendizagem de redes de computadores, apresentado no capítulo 5, construindo um ambiente mais atrativo e rico em informações e que sirva também como espaço de troca entre os usuários. A idéia é desenvolver novas estruturas de conhecimento, assim como aprimorar as estruturas existentes, além de disponibilizar novas informações e materiais didáticos. Para isso, nada mais importante que o compartilhamento de experiências entre professores e pesquisadores, ou até mesmo alunos.

Também seria interessante desenvolver uma versão multilíngüe do *ambiente Web*, em especial considerando a grande difusão que vêm tendo os mapas conceituais em aplicações educacionais, em particular em áreas científicas e tecnológicas. Assim, acreditamos que poderemos trazer contribuições às áreas tecnológicas e, especialmente, à área de redes de computadores, tanto no sentido de divulgar um *modelo de conhecimento* para redes de computadores, como o ferramental proporcionado pelas propostas educacionais aqui descritas e pelos mapas conceituais, os quais permitem elucidar e organizar corpos de conhecimento complexos.

Os mapas conceituais, apesar de terem sido desenvolvidos na década de 1970, podem ser considerados uma ferramenta emergente em aplicações educacionais. O impulso na sua utilização se deu, em particular, com o desenvolvimento de ferramentas computacionais integradas à Internet, permitindo, não somente a manipulação dos mapas conceituais, mas também a divulgação de modelos de conhecimento e o suporte ao trabalho colaborativo na construção dos modelos. Novak e Cañas (2004) apontam para um “novo modelo de educação”, baseado no uso de mapas conceituais e ferramentas computacionais conectadas à Internet, colocando em prática, de um modo simples, idéias construtivistas que anteriormente eram difíceis de serem desenvolvidas. Em especial, apontam para o trabalho colaborativo na construção de modelos de conhecimento, colocando em prática idéias como as apresentadas por Vygotsky

(1991) acerca da importância das trocas sociais no aprendizado e o conceito de “zona de desenvolvimento proximal”.

Desta forma, trabalhando em torno de *modelos de conhecimento* dedicados às redes de computadores e ferramentas computacionais integradas à Internet, acreditamos trazer à comunidade acadêmica, além de elementos para fortalecer a mediação docente, ferramentas que auxiliem, efetivamente, a aplicar estas propostas educacionais na melhoria da qualidade da educação tecnológica.

Apêndice A

Contribuições da Educação

A.1 Síntese das contribuições da educação

O mapa conceitual da figura A.1 mostra uma síntese das contribuições da educação utilizadas na montagem das propostas educacionais para redes de computadores apresentadas neste trabalho.



Figura A.1: Mapa conceitual com síntese das contribuições da educação.

A.2 Síntese da proposta temática para redes de computadores

O mapa conceitual da figura A.2 detalha as principais idéias de uma proposta temática aplicada à área de redes de computadores.

Para subsidiar uma eventual discussão temática dentro do *ambiente Web*, descrito no capítulo 5 deste trabalho, este mapa está ligado a textos para debate sobre as diversas questões que envolvem o balanço entre as tecnologias da informação e a sociedade – conforme sugerem também os estudiosos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) – além de textos com curiosidades e novidades tecnológicas, com o objetivo de motivar o debate sobre o futuro dos novos sistemas. Também é possível acessar mapas ilustrativos sobre a evolução dos conceitos de redes de computadores ao longo da história das tecnologias de interligação em rede.

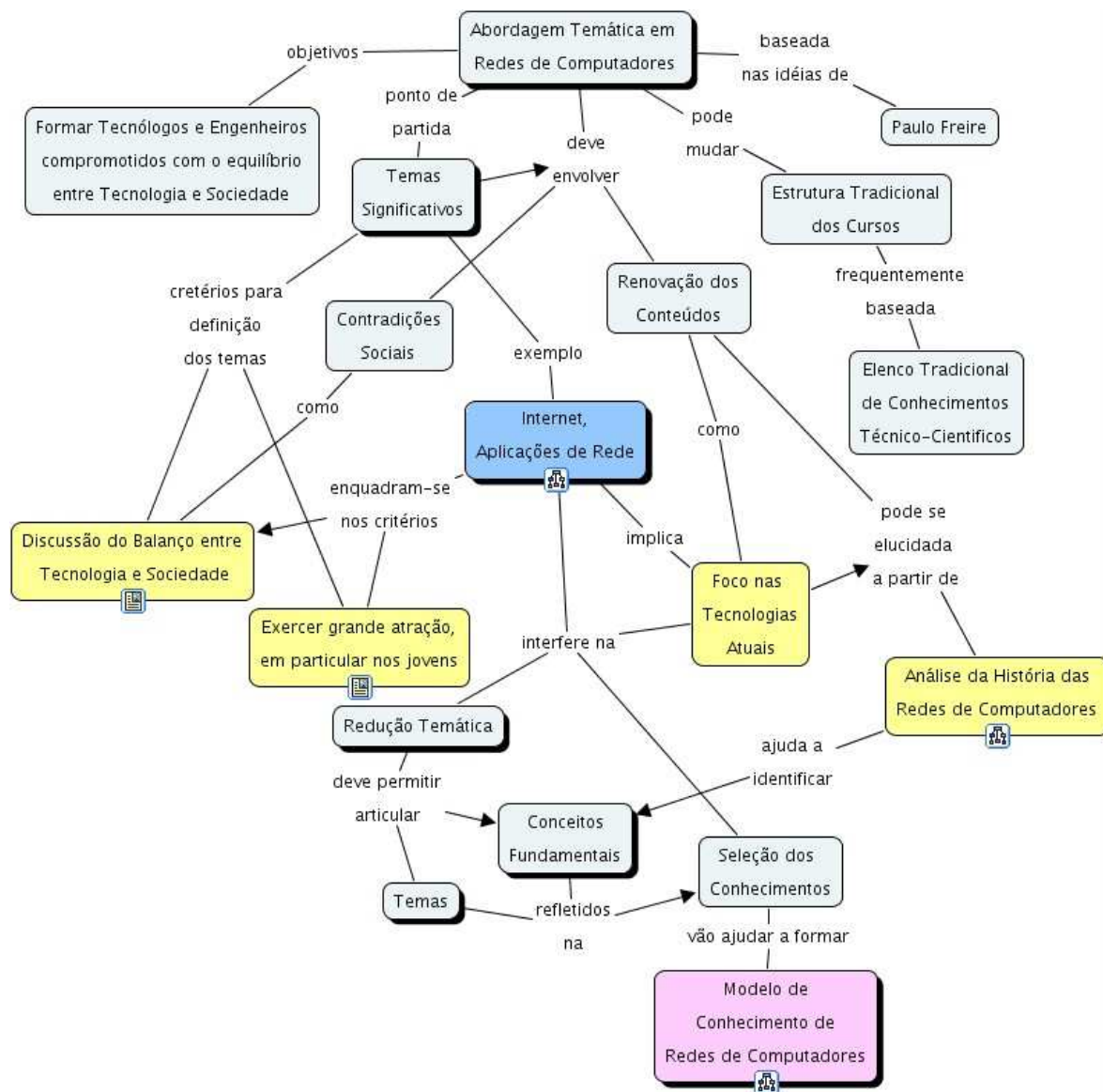


Figura A.2: Síntese das idéias envolvidas na *abordagem temática*.

Apêndice B

Livros-Textos de Redes de Computadores

Neste apêndice, é feita uma apresentação geral da forma de organização de alguns dos principais livros-textos de redes de computadores, utilizados neste trabalho como referência para a discussão da *organização do conhecimento* desta matéria. Os seguintes livros foram incluídos: Tanenbaum (1981), Tanenbaum (2003), Kurose e Ross (2000) e Peterson e Davie (2000).

Também foi incluído neste apêndice, na última seção, uma pesquisa sobre a utilização dos livros-textos de redes de computadores em cursos da área.

B.1 A organização em *camadas* de Tanenbaum (1981)

Tanenbaum (1981) foi um dos primeiros livros a apresentar os conteúdos de redes de computadores em *camadas*, organizadas de acordo com as sete camadas do modelo OSI (*Open System Interconnection*), definido pela ISO (*International Standards Organization*), um dos principais marcos na padronização das rede de computadores.

A divisão de capítulos deste livro foi assim organizada:

Introdução: Neste capítulo, é feita uma introdução ao assunto redes de computadores de uma forma geral e das camadas de protocolo em particular.

Topologia de rede: Discute vários algoritmos e heurísticas utilizadas no projeto de topologia de redes, incluindo a teoria de filas, utilizada na análise do problema do atraso (*delay*).

Camada física: Neste capítulo, foram agrupados os conhecimentos relativos aos aspectos físicos da transmissão de sinais, incluindo os fundamentos teóricos da comunicação de

dados, uma descrição do sistema telefônico, as técnicas de transmissão e multiplexação de sinais e as técnicas de detecção de erros na transmissão.

Camada enlace de dados: São estudados os algoritmos que permitem converter linhas ruidosas em uma comunicação livre de erros, para ser usada pela camada superior. São apresentados protocolos elementares de enlace, como o protocolo *pára-e-espera* e o protocolo de *janelas deslizantes*.

Camada rede: Entre outras coisas, define como os pacotes são roteados dentro da sub-rede de comunicação, garantindo que os mesmos alcancem o seu destino. São apresentadas as diferenças entre as redes baseadas em *circuito-virtual* e *datagramas*. São também discutidos os algoritmos de roteamento e o problema do congestionamento. Para o estudo da *camada rede*, Tanenbaum (1981) distinguiu as sub-redes de comunicação tipo *store-and-forward*, nas quais as mensagens seguem de comutador em comutador até o destino, como na ARPAnet, das sub-redes *broadcast*, nas quais as mensagens são difundidas em um meio comum, sendo capturadas pelo seu destinatário, como a ALOHAnet e a *Ethernet*. Nas sub-redes tipo *broadcast* são estudados dentro do escopo desta camada, incorporando normalmente as funções das *camadas enlace e rede*. Contudo, Tanenbaum (1981) ressalta que o modelo OSI pode ser interpretado de diferentes maneiras, sendo igualmente razoável situar as redes tipo *broadcast* no nível da *camada enlace*, o que foi feito mais tarde, na segunda edição de seu livro (Tanenbaum, 1988).

Camada transporte e camada seção: Foram agrupadas em um único capítulo, quw aborda problemas como endereçamento e estabelecimento de conexão, controle de fluxo, multiplexação, sincronização e recobrimento em caso panes. Diversas possibilidades para os protocolos foram estudadas, incluindo exemplos de protocolos destas camadas utilizados nas redes existentes.

Camada apresentação: Agrupa problemas relativos a criptografia, compressão de textos, terminais virtuais e transferência de arquivos. Esta camada provê serviços úteis aos processos usuários, mas todavia nem sempre essenciais ao funcionamento da rede.

Camada aplicação: À época da publicação do livro, praticamente não havia protocolos padrões referentes a este nível, sendo que foram compilados materiais referentes a pesquisas sobre aplicações emergentes, como bases de dados distribuídas e computação distribuída.

B.2 A abordagem ascendente de Tanenbaum (2003)

A quarta edição do livro de Tanenbaum (2003) mantém os conhecimentos organizados em camadas, baseadas no modelo Internet, seguindo a *abordagem ascendente*, iniciando pela *camada física* e seguindo até a *camada aplicação*.

A divisão de capítulos deste livro está assim organizada:

Introdução: Neste capítulo é feita uma introdução aos usos das redes de computadores, bem como uma descrição de aspectos do *software* e *hardware* de rede. São também descritos os modelos de referência OSI e Internet e apresentados exemplos de rede.

Camada física: Trata dos aspectos teóricos da transmissão de dados. Discute os meios físicos e a transmissão de dados sem fio e por satélites. Apresenta o sistema telefônico fixo e móvel, incluindo uma discussão da técnica ADSL, e o sistema de televisão a cabo, incluindo os *cable modems*.

Camada enlace de dados: Discute técnicas como enquadramento, controle de erros, controle de fluxo. Apresenta as técnicas de detecção e correção de erros. Apresenta protocolos de enlace como o *pára-e-espera* e o protocolo de *janelas deslizantes*, além de incluir exemplos de protocolos reais.

Sub-camada de acesso ao meio: Apresenta os protocolos de múltiplo acesso, como o ALOHA e o CSMA, e discute as tecnologias de rede local, incluindo a Ethernet, *Wireless LAN*, *Wireless MAN*, *Bluetooth* além de equipamentos de rede, como *hubs*, *bridges*, *routers* e *switches*.

Camada rede: Diferencia as redes baseadas em *datagrama* daquelas baseadas em *circuito-virtual*. Discute os algoritmos de roteamento e os algoritmos de controle de congestionamento e qualidade de serviço. Finaliza com a discussão do protocolo IP, que forma a *camada rede* da Internet

Camada transporte: Discute os elementos dessa camada, como estabelecimento de conexão, controle de fluxo, multiplexação e recuperação em caso de panes. Discute os *protocolos de transporte* da Internet, o UDP e o TCP.

Camada aplicação: Discute especificamente o DNS, o correio eletrônico, a aplicação WWW e as aplicações multimídia.

Segurança: Este último capítulo trata de temas ligados a segurança em rede, incluindo criptografia, chaves simétricas e públicas, assinaturas digitais, *firewalls* e protocolos de autenticação.

O mapa conceitual da figura B.1 mostra uma síntese da organização de Tanenbaum (2003).

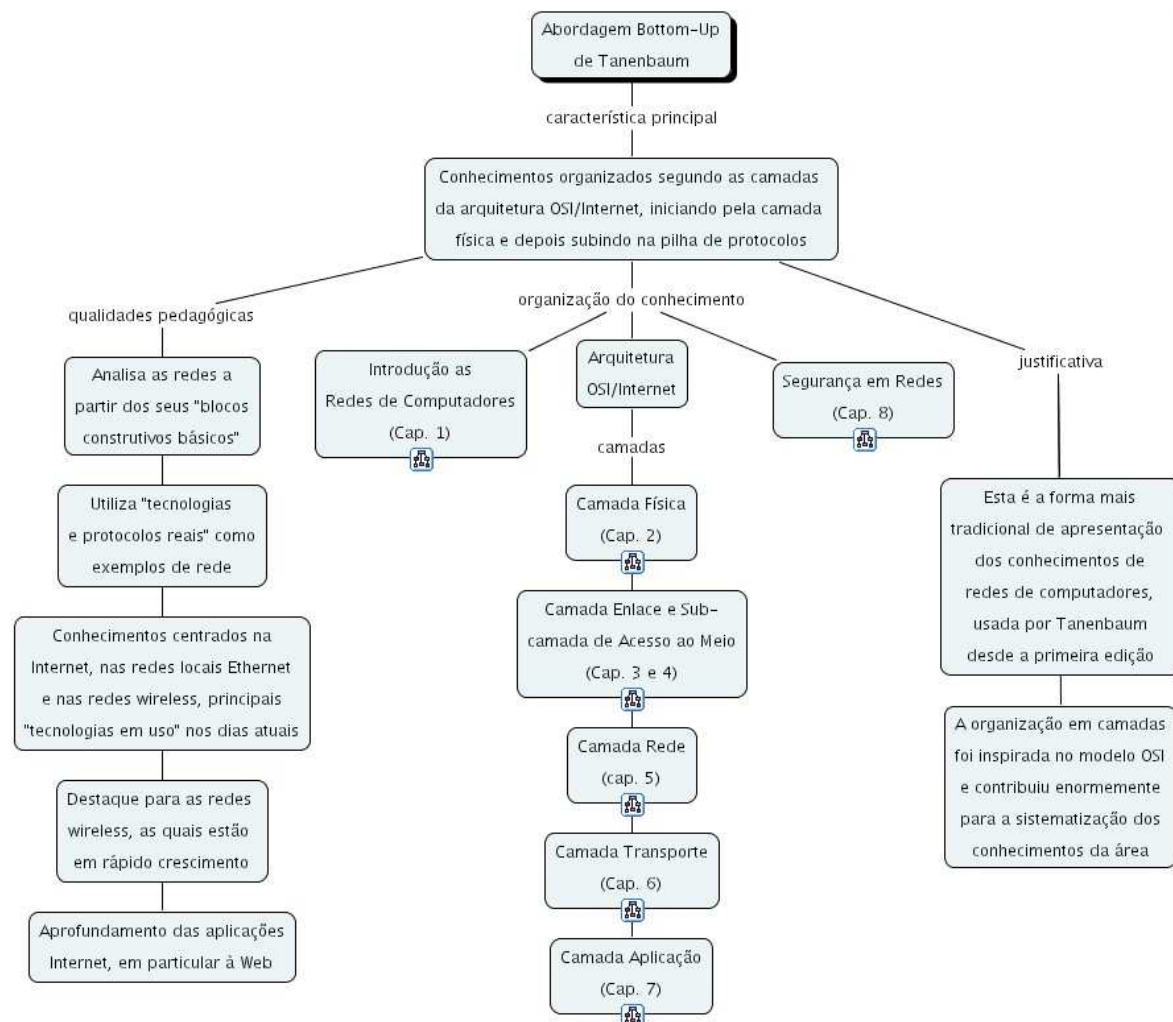


Figura B.1: Síntese da organização de Tanenbaum (2003).

B.3 A abordagem *top-down* com o foco na Internet de Kurose e Ross (2000)

Kurose e Ross (2000) introduziram uma nova perspectiva para o estudo das redes de computadores a partir da *abordagem top-down* com o foco na Internet. Inicia-se o estudo a partir de uma visão geral das redes e das aplicações, trabalhando as camadas de protocolos de forma descendente, começando pela *camada aplicação* e depois descendo pela pilha de protocolos.

Em função do foco na Internet, Kurose e Ross (2000) é organizado a partir de uma arquitetura em camadas baseada neste modelo:

A *camada aplicação* é vista no início, a partir das aplicações clássicas da Internet, como o WWW (*World Wide Web*), a transferência de arquivos (FTP - *File Transfer Protocol*), o correio eletrônico (*email - Electronic Mail*) e a aplicação DNS (*Domain Name System*), de tradução de nomes da Internet em endereços das máquinas.

A *camada transporte*, baseada no protocolo TCP, oferece um serviço de comunicação confiável à camada aplicação sobre uma camada de rede não confiável, utilizando mecanismos de abertura e fechamento de conexão e de controle de fluxo e congestionamento.

A *camada rede*, baseada no protocolo IP, permite encontrar as melhores *rotas* entre a malha de roteadores e interconectar sistemas heterogêneos.

A *camada enlace* permite aos computadores de uma rede local compartilhar um canal de acesso múltiplo, com destaque para o padrão *Ethernet*, o mais difundido para redes locais.

O capítulo *Redes Multimídia* discute as aplicações multimídia como fluxo de áudio e vídeo, incluindo o tema *qualidade de serviço*.

O capítulo *Segurança em Redes* discute a questão da segurança em redes, incluindo criptografia, autenticação, assinaturas digitais, chaves públicas e exemplos de serviços reais.

O capítulo *Gerenciamento de redes* trata do gerenciamento de redes, incluindo a discussão do protocolo SNMP e a filtragem de pacotes.

A *camada física* não é abordada no livro, ficando os conteúdos relativos às formas de transmissão de sinais, multiplexação etc para outras disciplinas. O primeiro capítulo apresenta uma excelente visão geral sobre redes de computadores, introduzindo vários conceitos-chaves e terminologias fundamentais para a leitura do restante do livro. A leitura deste capítulo dá ao leitor uma visão completa da Internet, apesar de superficial.

O mapa conceitual da figura B.2 mostra uma síntese da organização de Kurose e Ross (2000).

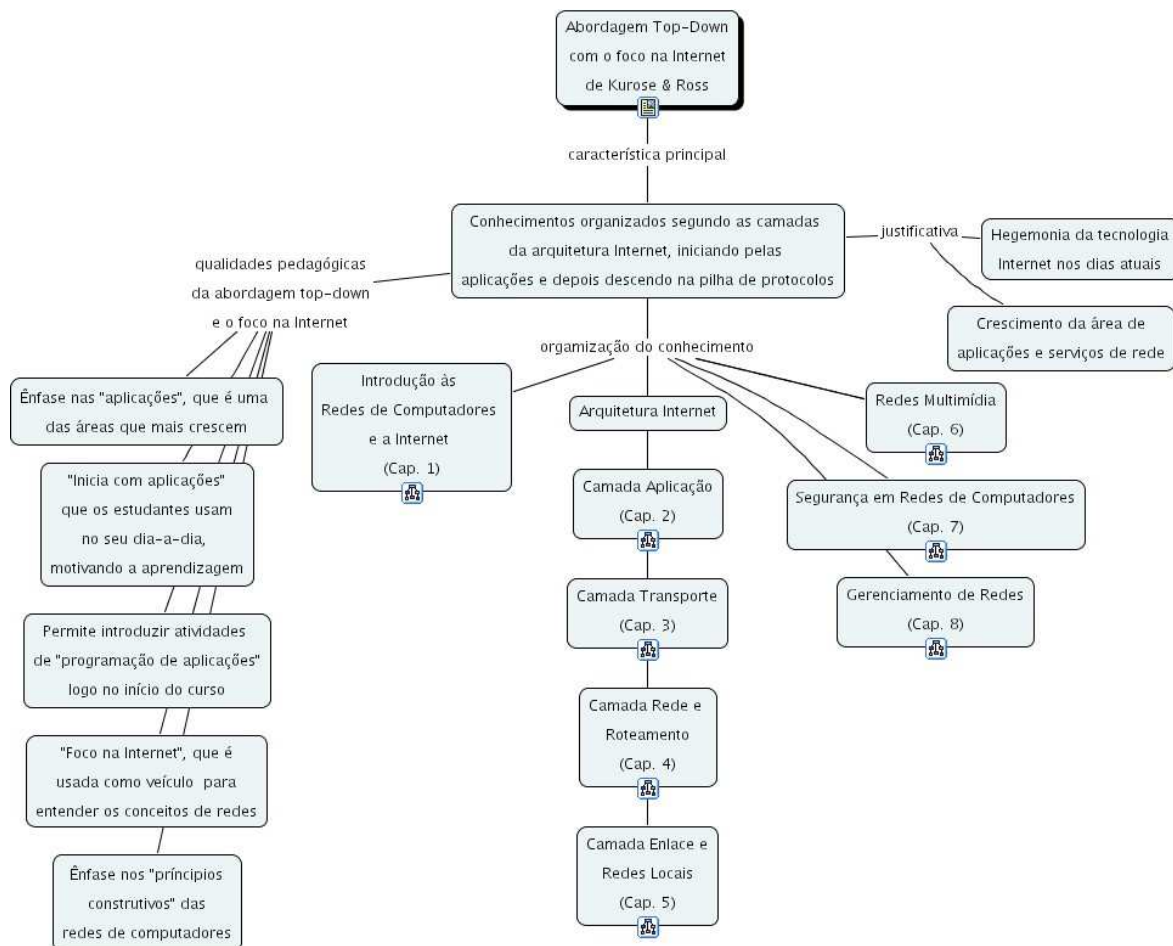


Figura B.2: Síntese da organização de Kurose e Ross (2000).

B.4 A abordagem de Sistemas de Peterson e Davie (2000)

Peterson e Davie (2000) organizam a discussão dos conceitos de redes de computadores sem uma preocupação excessiva em agrupar os conhecimentos segundo uma arquitetura em camadas, desenvolvendo uma perspectiva por eles chamada de *abordagem de sistemas*.

Este livro é organizado da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta um conjunto de idéias básicas que são utilizadas no restante do texto, procurando responder o problema de montar uma rede. Inicia com aspectos da conectividade em rede, como *conectividade ponto-a-ponto*, *multiponto* e as *redes chaveadas*. Diferencia as redes baseadas em *comutação de circuitos* das baseadas em *comutação de pacotes*, bem como as formas de multiplexar um canal de comunicação. Na sequência, explora os requisitos que diferentes aplicações impõem sobre a rede e a necessidade de serviços comuns, chegando a uma *arquitetura de rede*. Depois, discute aspectos ligados ao desempenho, tomando como base os parâmetros de *capacidade de transmissão (throughput)* e *atraso (delay)*.

O capítulo 2 estuda uma grande variedade princípios usados na conectividade em rede, como *codificação*, *enquadramento*, *detecção de erros* e *transmissão confiável*. Estes princípios são utilizados na sequência para estudar tecnologias de rede de alto nível, variando desde *Ethernet* até as redes *token ring* e *sem fio*.

Os capítulo 3 e 4 tratam das redes comutadas e da inter conexão de redes, diferenciando redes baseadas em *datagrama* daquelas baseadas em *circuito virtual*. Como tecnologias, discute as redes ATM e os principais elementos do Protocolo Internet (IP).

Os capítulo 5 e 6 discutem protocolos de transporte usados para montar aplicações cliente-servidor, como o TCP (*Transmission Control Protocol*) e as RPC (Remote Procedure Calls), além dos problemas de controle de congestionamento e alocação de recursos.

Os capítulos 7 e 8 tratam dos problemas relacionados à formatação e compactação de dados, bem como problemas de criptografia e serviços de segurança.

O capítulo 9 descreve as aplicações de rede, tanto tradicionais, como correio eletrônico, Web, quanto aplicações multimídia.

Na terceira edição, Peterson e Davie (2003) colocaram, no primeiro capítulo, uma ênfase maior sobre as aplicações, seguindo a tendência já apontada em outros livros recentes. E no capítulo 9, dedicado às aplicações, incluíram as redes de *overlay*, como compartilhamento de arquivos *peer-to-peer* e redes de distribuição de conteúdos.

O mapa conceitual da figura B.3 mostra uma síntese da organização de Peterson e Davie (2000).

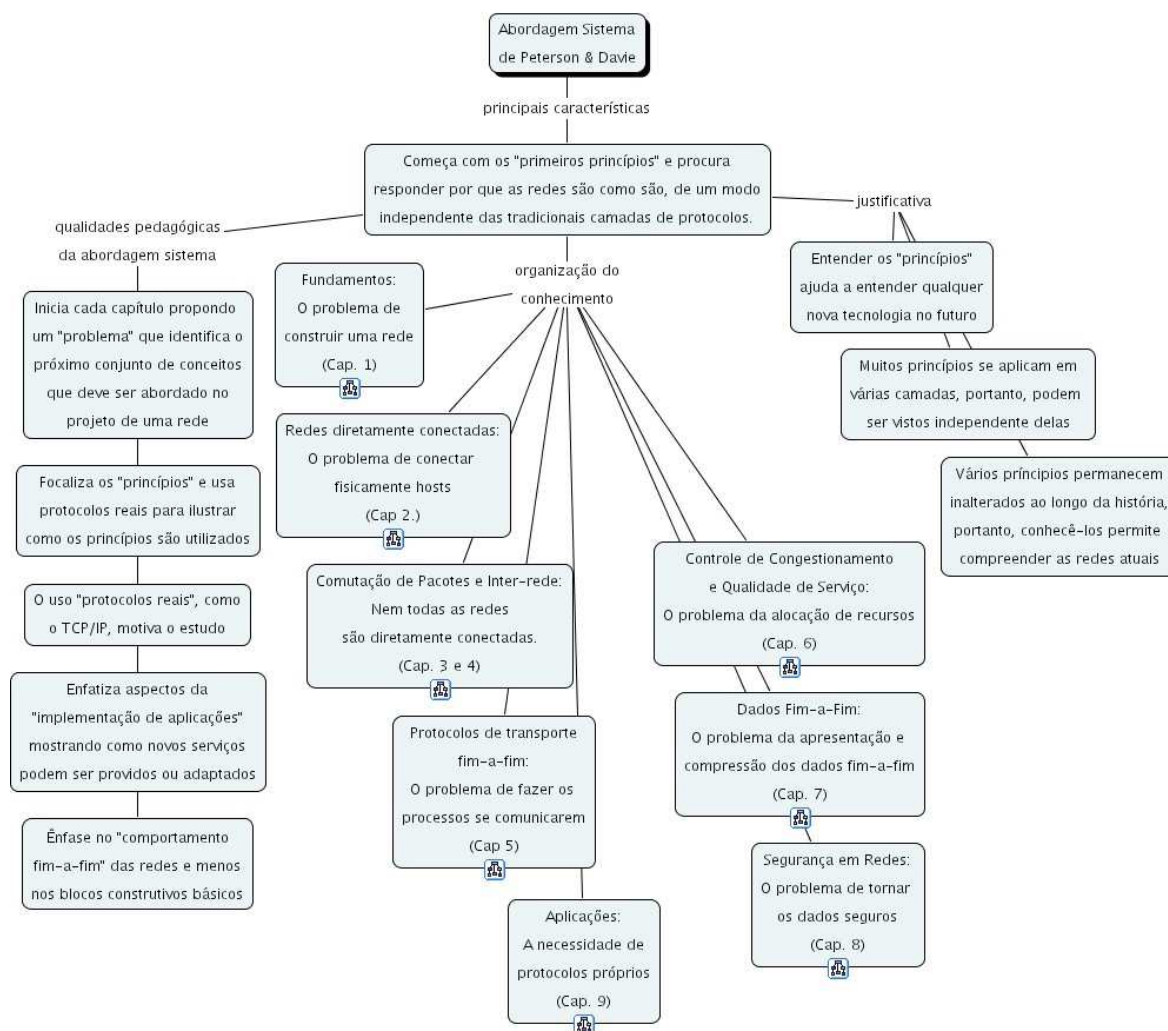


Figura B.3: Síntese da organização de Peterson e Davie (2000).

B.5 Os livros-textos mais utilizados sobre redes de computadores

Apresentamos nesta seção uma pesquisa sobre a utilização dos livros-textos de redes de computadores em cursos da área.

Esta pesquisa foi realizada na Internet, supervisionada pelo professor Keith Ross, em fevereiro de 2002, com apoio da ferramenta de busca *www.google.com* em sítios *.edu* (majoritariamente de universidades dos EUA). A pesquisa procurou computar o número de universidades (encontradas a partir das páginas dos respectivos professores) que utiliza cada obra como livro-texto. Somente foram computadas as situações onde a obra é adotada como livro-texto base do curso, e não apenas citada como bibliografia auxiliar.

Foram encontrados aproximadamente os seguintes números:

| Pesquisa em universidades americanas | |
|--------------------------------------|------------|
| Livro-texto | Resultados |
| Kurose e Ross | 87 |
| Peterson e Davie | 65 |
| Stallings | 39 |
| Tanenbaum | 23 |
| Bertsekas e Gallager | 20 |
| Leon-Garcia e Widjaja | 13 |

Destaca-se na pesquisa a crescente adoção dos livros Kurose e Ross (2000) e Peterson e Davie (2000), os quais utilizam uma abordagem alternativa em relação à tradicional *abordagem ascendente* utilizada por Stallings (2000) e Tanenbaum (1996), autores com longa tradição na área.

Ressalta-se, contudo, que na época da pesquisa, a quarta edição de Tanenbaum (2003) ainda não havia sido publicada, o que pode ter interferido na pesquisa, além do fato de este autor não ser norte-americano.

Em termos de universidades brasileiras, tentou-se realizar uma pesquisa semelhante, mas os resultados não foram satisfatórios em função do escasso material encontrado nos sítios *Web* dos professores. Pela nossa experiência e pelas informações que foi possível capturar na pesquisa realizada, podemos dizer que são bastante utilizados os livros de Tanenbaum (1996, 2003) (bastante conhecidos e utilizados em função de haver traduções portuguesas desde a segunda edição) e, mais recentemente, Kurose e Ross (2000) (já disponível com tradução em português). Além destes, é também bastante utilizado Soares et al. (1995), escrito por brasileiros.

Apêndice C

Plano de ensino para um módulo de formação sobre as redes de computadores e a Internet

Este apêndice apresenta um plano de ensino para um *módulo de formação* sobre as redes de computadores e a Internet, o qual faz parte do currículo do Curso Técnico de Telecomunicações do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina (CEFET/SC), Unidade São José.

A duração do módulo de formação é de 18 semanas, com mais duas semanas previstas para recuperação de aprendizagem. Em cada semana estão alocadas cinco horas/aula (45 minutos) para o módulo, sendo três delas reservadas para as atividades de laboratório. Cada turma, constituída por 32 alunos, é dividida em duas turmas de 16 alunos para as atividades de laboratório. A carga horária total do módulo de formação é de 90 horas/aula, incluindo-se neste total as atividades de avaliação.

C.1 Objetivos

Os objetivos do módulo são os seguintes:

- Caracterizar e classificar as redes de computadores e a Internet, descrevendo os conceitos chave e as terminologias, baseando-se em aplicações, serviços, protocolos e formas de acesso;
- Constatar a importância e utilidade da Internet e das redes de computadores na sociedade contemporânea, conhecer seus aspectos históricos e refletir sobre a relação entre tecnologia e sociedade;

- Operar e configurar aplicações Internet e aplicativos de rede, caracterizando e precisando os serviços e protocolos necessários;
- Identificar as funcionalidades e a abrangência dos protocolos da Internet TCP/IP. Configurar uma estação cliente e auxiliar na configuração de uma rede baseada no TCP/IP;
- Identificar as funcionalidades das redes locais de computadores, precisando e caracterizando os protocolos de acesso ao meio. Identificar as características funcionais equipamentos de conectividade em rede, como *hubs*, pontes e *switches*. Instalar e auxiliar na configuração dos dispositivos e equipamentos para conexão em rede local.

C.2 Unidade: Visão geral da Internet e as aplicações de rede

Conteúdos

O que é uma rede de computadores e a Internet, conceitos chave e terminologias. As aplicações de rede. A topologia básica e os principais componentes da Internet. Provedores e formas de acesso à Internet. O que é um protocolo de comunicação e a comutação de pacotes. Características gerais dos principais protocolos da Internet. Uso das aplicações. Modelo cliente-servidor e par-a-par. Os diferentes tipos de aplicações e os serviços comuns solicitados à rede. Protocolos de aplicação e a interface com os protocolos da Internet.

Carga horária

Seis semanas: 15 h/a (Sala de Aula) + 15 h/a (Laboratório);

Atividades pedagógicas previstas e estratégias

Orientação e trabalho em grupo, visando construir um *organizador prévio* para introduzir o conceito de comutação de pacotes, principal técnica subjacente às redes de computadores e a Internet.

Orientação, visando realizar um levantamento das aplicações de rede e das possíveis utilizações destas; levantamento dos diferentes dispositivos e equipamentos que podem ser conectados a Internet; levantamento e classificação dos protocolos de comunicação mais conhecidos.

Orientação, visando realizar pesquisa na *Web* sobre a relação entre tecnologia e sociedade; seleção e leitura de textos; apresentação e discussão em sala de aula.

Orientação e aulas de laboratório, visando à utilização das diversas aplicações Internet, destacando os conceitos e terminologias.

Apresentação dos conceitos de comutação de pacotes e protocolo de comunicação, utilizando analogias.

Apresentação da topologia da Internet, utilizando ilustrações; orientação de pesquisa na *Web* sobre a topologia da rede acadêmica nacional; visita para conhecer a estrutura da rede acadêmica da escola.

Orientação, visando realizar pesquisa sobre as formas de acesso residencial e corporativo à Internet, caracterizando e diferenciando cada uma delas; apresentação em sala pelos alunos.

Síntese sobre a Internet e seus principais conceitos e tecnologias subjacentes, utilizando como apoio mapa conceitual sobre a Internet.

Avaliação da unidade relativa à visão geral da Internet e das aplicações de rede.

Atividades de laboratório

Estas atividades estão previstas para acontecer em paralelo às discussões teóricas e atividades pedagógicas realizadas em sala de aula:

1. Aplicação WWW, modelo cliente/servidor, caracterização do endereço URL, linguagem HTML, protocolo HTTP, pesquisa na *Web*.
2. Aplicação de acesso remoto (telnet e SSH).
3. Aplicação de transferência de arquivos, ambiente modo texto, protocolo FTP, FTP anônimo, repositórios FTP.
4. HTML básico, Construção de página HTML, hospedar e modificar a página no servidor *Web* da escola usando FTP e acesso remoto.
5. Aplicação de correio eletrônico, clientes e servidores, leitores de *email* e *Webmail*, protocolos SMTP e POP3.

C.3 Unidade: Arquitetura Internet

Conteúdos

Camadas de protocolos e encapsulamento. Os modelos Internet e OSI. Camada aplicação. Camada transporte e protocolos TCP e UDP. Camada rede e protocolo IP. Camada enlace/física.

Carga horária

Oito semanas: 19 h/a (Sala de Aula) + 21 h/a (Laboratório);

Atividades pedagógicas previstas e estratégias

Introdução ao conceito de transferência de dados garantida, utilizando analogias.

Introdução aos conceitos de arquitetura em camadas e encapsulamento de protocolos, utilizando analogias e atividade de teatro.

Introdução ao conceito de roteamento de pacotes, utilizando analogias e atividade de teatro.

Apresentação do conceito da arquitetura Internet, utilizando como suporte extratos bibliográficos e mapas conceituais sobre o assunto.

Apresentação do modelo OSI e dos diversos padrões para redes de computadores, utilizando como suporte ilustrações e mapas conceituais sobre o assunto.

Discussão sobre a história das redes de computadores e da Internet, utilizando como suporte textos e mapas conceituais sobre o assunto.

Apresentação e detalhamento dos protocolos da Internet TCP/IP, utilizando como suporte extratos bibliográficos, figuras, diagramas de troca de mensagens e mapas conceituais sobre o assunto.

Orientação e aulas de laboratório visando à utilização de aplicativos para análise e configuração dos protocolos da Internet TCP/IP.

Avaliação da unidade relativa à arquitetura Internet.

Atividades de laboratório

1. Aplicativos de rede: `ifconfig` (configuração do TCP/IP), `ping` (verifica se *host* está ativo), `traceroute` (traça rota aproximada entre dois *hosts*) e `netstat` (mostra conexões de rede, tabelas de roteamento, estatísticas da interface de rede etc).
2. Instalação de um servidor *Web* simples: portas cliente e servidor, abertura de conexão TCP, mensagens do protocolo HTTP.
3. Captura e análise de pacotes com `tcpdump`. Diagrama de troca de mensagens de uma abertura de conexão TCP entre um cliente e um servidor *Web*.
4. Protocolo ARP e ICMP. Funcionamento dos aplicativos `arp`, `ping` e `traceroute`. Análise de pacotes com `tcpdump`.
5. Tabelas de roteamento. Aplicativos `traceroute` e `netstat`.
6. Protocolo DHCP e serviço DNS. Análise da configuração destes serviços em um servidor.
7. Visita a rede da escola, com exposição, pelo administrador, do leiaute da rede, da configuração dos servidores e do TCP/IP e dos diferentes serviços disponibilizados.

C.4 Unidade: Redes Locais de Computadores

Conteúdos

O que é uma rede local de computadores. Tecnologias Ethernet e *Wireless*. Protocolos de acesso ao meio. Equipamentos de rede, como *hubs*, pontes e *switches*.

Carga horária

Quatro semanas: 8 h/a (Sala de Aula) + 12 h/a (Laboratório);

Atividades pedagógicas previstas e estratégias

Apresentação das redes locais, destacando suas funcionalidades e importância para o compartilhamento de recursos e provimento de acesso a Internet em ambientes corporativos; apresentação dos serviços disponíveis na rede local da escola pelo administrador da rede.

Apresentação das características principais dos protocolos de acesso ao meio utilizados nas redes locais; discussão da origem histórica dos protocolos de acesso ao meio, utilizando como suporte textos e mapas conceituais sobre o assunto.

Apresentação e detalhamento da tecnologia Ethernet, utilizando como suporte extratos bibliográficos, figuras e mapas conceituais sobre o assunto.

Apresentação dos equipamentos utilizados para conexão em rede, utilizando como apoio material bibliográfico, catálogos e manuais técnicos dos equipamentos.

Orientação e aulas de laboratório visando à utilização de aplicativos para captura de pacotes e análise do tráfego na rede local.

Apresentação das novas tendências tecnológicas em termos de redes locais de computadores, utilizando como apoio textos sobre o assunto.

Avaliação da unidade relativa às redes de computadores.

Atividades de laboratório

1. Análise do tráfego na interface da rede local utilizando *tcpdump* e *netstat*.
2. Experimento com *hubs* e *switches*. Análise do tráfego com a rede segmentada pelos *switches*.
3. Protocolo PPP. Instalação de um cliente e um servidor PPP.
4. Demonstração de experimento com rede local *Wireless* e *Powerline* (conectando *hosts* via rede elétrica).

Apêndice D

Materiais Didáticos para Facilitar o Entendimento de Conceitos

Neste apêndice estão reunidos alguns *materiais didáticos*, incluindo analogias e atividades de teatro, que podem ser utilizados pelos professores de redes de computadores para facilitar o entendimento de conceitos pelos alunos.

Diferentemente de outras áreas, como por exemplo a física clássica, vários conceitos da área de redes são conceitos abstratos, difíceis de serem entendidos de forma intuitiva ou mesmo testados experimentalmente. Neste sentido, o uso de analogias e outras atividades ilustrativas se mostra bastante profícuo.

D.1 Analogia entre a comutação de pacotes e o sistema postal

Em muitos aspectos, as redes baseadas em *datagramas* são análogas aos serviços postais. Quando alguém vai enviar uma carta a um destinatário, o mesmo coloca a carta em um envelope e escreve o endereço do destinatário e do remetente sobre o envelope. O endereço tem uma estrutura hierárquica, incluindo, no caso do Brasil, o país, o estado, a cidade, a rua e o número da casa. Por exemplo, se alguém enviar uma carta de Paris, na França, para uma casa situada na cidade de São José, em Santa Catarina, primeiro o remetente depositará a carta em uma agência próxima de sua casa, em Paris. Nesta agência, uma triagem será realizada e, como se trata de uma carta internacional, esta será encaminhada a agência central da França responsável pelo serviço internacional. Este vai direcionar a carta para o centro postal do Brasil (por exemplo, situado em São Paulo). O centro postal do Brasil vai então direcionar a carta para Santa Catarina, estado destino da carta (na agência central de Florianópolis, por

exemplo). A agência de Florianópolis vai então direcioná-la à agência de São José, que, por sua vez, vai repassar ao carteiro para entregar a carta na casa do destinatário. Em cada agência de correio, a carta passou por um processo de triagem e encaminhamento em direção ao destino.

No caso de uma rede baseada em *datagramas*, cada *datagrama*, ou *pacote de informação*, possui um cabeçalho, com várias informações, entre elas o endereço de origem e o destino da informação. Neste tipo de rede, os *sistemas terminais* (por exemplo, computadores) não são diretamente conectados; utilizam-se dispositivos de chaveamento intermediário, chamados *roteadores*. Em cada *roteador*, os *datagramas* que chegam nos enlaces de entrada são armazenados e encaminhados aos enlaces de saída, em função do endereço do destinatário, seguindo de *roteador* em *roteador* até seu destino final.

Portanto, nas redes baseadas em *datagramas*, os *roteadores* fazem o papel das agências de correio, verificando o endereço do destino do datagrama e escolhendo o roteamento apropriado.

D.2 Analogia entre a *transferência garantida* e a compra de uma enciclopédia em fascículos

Voltando à analogia com o sistema postal, pode-se dizer que o serviço de entrega de correspondências entre usuários é um serviço tipo “melhor esforço” (*best effort*), isto é, ele faz o melhor esforço para o envio de uma carta entre usuários, mas não dá nenhuma garantia. Em particular, não garante a entrega da carta, pois a mesma pode se perder e não há formas de avisar o emissor sobre o ocorrido. Da mesma forma, não há um serviço de confirmação de recebimento do receptor ao emissor. É por isso que o serviço de entrega pode ser chamado de “serviço não garantido”.

Este serviço é análogo ao serviço oferecido pelo protocolo da camada rede da Internet, o IP. Na Internet, o *serviço garantido* é implementado pelo TCP e roda sobre o *serviço não garantido* fornecido pelo IP, utilizando números de sequência, reconhecimentos e temporizadores.

Vamos comparar o serviço garantido fornecido pelo TCP utilizando uma analogia com o que acontece na compra de uma enciclopédia em fascículos. Suponha que você resolva adquirir uma enciclopédia, cujos volumes são vendidos em fascículos que são entregues pelo correio. Imagine que a coleção completa tenha 100 fascículos sendo eles enviados um a cada semana. Quando você resolve fazer a compra, você envia uma carta a editora responsável pela venda da enciclopédia com seu pedido. A editora então faz a abertura de um cadastro de

cliente para você e, na semana seguinte, lhe envia a confirmação do seu cadastro, juntamente com o primeiro fascículo e os procedimentos para confirmação de recebimento e pagamento.

Suponha que a cada cinco fascículos recebidos, você deve enviar uma correspondência de confirmação de recebimento, juntamente com a parcela de pagamento correspondente. Como a entrega dos fascículos usa o “serviço não garantido” dos correios, aqueles podem ser perdidos ou mesmo danificados no transporte. Caso isto ocorra, você deverá enviar à editora uma carta de aviso informando o número do fascículo que não chegou ou que chegou danificado. A editora então fará o reenvio do fascículo com problemas.

A troca de mensagens entre o comprador e a editora continua até que o total de 100 fascículos sejam entregues e a última confirmação e o respectivo pagamento sejam efetuados. Neste momento, a editora encerrará o cadastro do cliente e você poderá usufruir da enciclopédia completa.

Voltando aos protocolos da Internet, para implementar o serviço garantido no TCP, ocorrem procedimentos similares aos efetuados entre o cliente e o vendedor da enciclopédia. No caso do TCP, primeiro há uma fase chamada de abertura de conexão, onde se estabelecem os parâmetros para a comunicação, como inicialização de variáveis e *buffers*. Em seguida, inicia-se a troca de dados, sendo que cada pacote de informação trocado entre o emissor e o receptor tem um número de sequência, o qual vai ser tomado como base para o receptor reconhecer o recebimento. Caso o reconhecimento não seja confirmado dentro de um tempo limite, o emissor retransmite o pacote.

D.3 Atividade de teatro utilizada como representação figurativa de conceitos

Da mesma forma que usar analogias, lançar mão de algumas atividades de representação figurativa com os alunos, simulando eventos na forma de um teatro, pode ajudar no entendimento de conceitos e tornar o momento instrucional bastante descontraído, fugindo da “dureza” de uma aula expositiva teórica sobre um tema complexo.

A seguir, montamos um exemplo de representação figurativa que permite ilustrar o conceito de *encapsulamento de protocolos* e a *multiplexação de aplicações* utilizada pelos *protocolos de transporte* da Internet.

Representação figurativa do encapsulamento de protocolos e da multiplexação de aplicações efetuadas pelos protocolos de transporte da Internet

O objetivo desta representação é ilustrar o encapsulamento dos protocolos da Internet, por exemplo, uma *mensagem* do protocolo HTTP com o pedido de uma página Internet, encapsulada dentro de um *segmento* do protocolo TCP, que, por sua vez, é empacotado dentro de um *datagrama* IP. Também é ilustrado, além do encapsulamento de protocolos, o serviço de multiplexação de aplicações, realizado pelo protocolo de transporte da Internet TCP (e também pelo UDP), através das *portas*.

Material de apoio necessário:

- Confeccionar 10 envelopes de cartolina que serão utilizados para representar *datagramas* IP, desenhando na face os campos do cabeçalho de um datagrama IP.
- Utilizando outra cor, confeccionar 10 envelopes menores (que caibam dentro do datagrama IP), para representar *segmentos* TCP e desenhar os campos do cabeçalho TCP nos envelopes.
- Imprimir algumas páginas Internet residentes no mesmo servidor, que serão utilizadas para representar mensagens das aplicações. Estas páginas impressas devem ser cortadas em pedaços, simulando pacotes de informação, e devem caber dentro dos envelopes que representam os segmentos TCP.

A situação representada será uma comunicação entre um servidor Web e dois clientes conectados diretamente a uma rede local.

Montagem da cena:

Escolher três alunos voluntários para a representação, os quais ficarão em carteiras separadas entre si. Um aluno fará o papel do *servidor Web* e os dois outros dos *computadores cliente*, recebendo cada um um endereço IP. Um quarto aluno fará o papel da *camada enlace* da *rede local* que conecta o *servidor Web* e os dois *clientes* e circulará entre as carteiras para entregar diretamente datagramas entre os computadores.

Os alunos que representam os computadores cliente e servidor receberão envelopes que representam *datagramas* IP e *segmentos* TCP, simbolizando o fato de possuírem os protocolos TCP/IP instalados. O *servidor Web* guardará as *páginas Web* impressas.

Representação:

Para requisitar uma *página Web*, um cliente deverá primeiro, escrever uma mensagem GET (requisição de página usando protocolo HTTP) em um pedaço de papel (por exemplo, GET <http://www.sj.cefetsc.edu.br>) e acondicioná-la no envelope de um segmento TCP. Em seguida, deverá anotar, a lápis, os números de *porta* do cliente e do servidor (por exemplo, *porta cliente* 1026 e *porta servidor* 80). Feito isto, o segmento TCP é acondicionado em um datagrama, e o endereço IP do cliente e do servidor é anotado no cabeçalho do datagrama (por exemplo, cliente 200.135.233.50 e servidor 200.135.233.1). Concluídas essas operações, o datagrama é repassado à rede local, que fará a entrega ao destinatário.

O aluno que representa a *rede local* entrega o datagrama diretamente ao *servidor Web*, com base no seu endereço IP.

Quando o servidor recebe o datagrama, abre o envelope e vê que se trata de uma mensagem do protocolo HTTP (segmento TCP porta 80). Abre então o segmento e lê a requisição de uma página Web. Em função da página solicitada, o servidor Web deverá selecionar a página, acondicioná-la em um segmento TCP, anotar as respectivas portas de origem e destino, em conformidade com a requisição recebida, colocar o segmento em um datagrama, anotar os endereços IP e repassar novamente à rede local, para entrega ao cliente.

Variações:

Outras situações podem ser representadas, como uma nova página solicitada pelo mesmo computador (no caso, uma outra *porta* cliente deverá ser utilizada) ou uma solicitação do outro computador cliente (no caso, o endereço IP do cliente deverá ser diferente). Os pontos centrais a serem enfatizados durante a representação são o encapsulamento dos protocolos e o comportamento das portas TCP, que implementam o serviço de multiplexação de aplicações.

Como se trata de uma comunicação restrita a uma rede local, a entrega dos datagramas é feita diretamente pela camada de enlace. Isto é chamado na literatura de *encaminhamento direto*; diferentemente do *encaminhamento indireto* via roteadores. Neste sentido, também pode ser ilustrado nesta representação o mapeamento do endereço IP em endereço físico da rede local, que é feito, por exemplo, em uma rede local Ethernet, com o protocolo ARP.

Também é possível realizar uma representação mais elaborada, a fim de simular os *números de seqüência* (e *reconhecimento*), utilizados pelo *serviço de entrega garantida* do TCP. Nesse caso, os pedaços que compõem cada página Web devem ser numerados (estipulando um tamanho para cada fragmento, por exemplo, 1000 bytes) e acondicionados separadamente em segmentos TCP antes de serem enviados.

Referências Bibliográficas

- Almeida, H., Lalanne, S. e Oliveira, M. (1993). Modelagem do Sistema Michoco: Um Simulador Orientado a Objeto para o Ensino de Redes de Computadores, *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC1993)*, Campinas.
- Angotti, J. A., da Purificação de Bastos, F. e Mion, R. A. (2001). Educação em Física: Discutindo Ciência, Tecnologia e Sociedade, *Ciência E Educação*, v. 7, pp. 183–197.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. e Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*, Interamericana, Rio de Janeiro.
- Bachelard, G. (1996). *A Formação do Espírito Científico: Contribuição para uma Psicanálise do Conhecimento*, Contraponto, Rio de Janeiro, cap. I - A Noção de Obstáculo Epistemológico.
- Bazzo, W. A. (1998). *Ciência, Tecnologia e Sociedade: E o Contexto da Educação Tecnológica*, EDUFSC, Florianópolis.
- Bazzo, W. A., Pereira, L. T. V. e Linsingen, I. V. (2000). *Educação Tecnológica: Enfoques para o Ensino de Engenharia*, EDUFSC, Florianópolis.
- Berners-Lee, T. (1989). Information Management: A Proposal, *CERN*.
<http://www.w3.org/History/1989/Proposal.html>.
- Bertsekas, D. and Gallager, R. (1992). *Data Networks*, 2 ed, Prentice Hall, New Jersey.
- Blikstein, P. (2001). Novas tecnologias podem limitar e escravizar o homem, *Jornal do Brasil*. Entrevista realizada por Eliane Bardanachvili.
- BRASIL/MCT (2000). *Livro Verde da Sociedade da Informação*, BRASIL - Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília.
- Briggs, G., Shamma, D., Cañas, A. J., Carff, R., Scargle, J. and Novak, J. (2004). Concept Maps Applied to Mars Exploration Public Outreach, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 109–116.

- Bruner, J. S. (1973). *O Processo da Educação*, Nacional, São Paulo.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Coffey, J., Reichberzer, T., Suri, N., Carff, R., Shamma, D., Hill, G., Hollinger, M. y Nitrovich, T. (2003). *Herramientas para Construir y Compartir Modelos de Conocimiento*, Institute for Human and Machine Cognition, University of West Florida, USA. <http://cmap.coginst.uwf.edu>.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Hayes, P. J. y Reichberzer, T. (1997). Colaboração en la Construcción de Conocimiento Mediante Mapas Conceptuales, *VIII Congreso Internacional sobre Tecnología y Educación a Distancia*, San José, Costa Rica.
- Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., Gómes, G., Arroyo, M. and Carvajal, R. (2004). Cmaptools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 125–134.
- Cantú, E. (2001). Contribuição da Epistemologia e das Teorias de Educação no Ensino das Tecnologias da Informação e Comunicação, *Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC2001)*, *Workshop de Ensino de Informática (WEI)*, Fortaleza.
- Cantú, E. e Farines, J. M. (2002). Ensino-Aprendizagem de Redes de Computadores: Em Busca de uma Abordagem Metodológica Adaptada à Era da Internet, *Anais do XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC2002)*, *Workshop de Ensino de Informática (WEI)*, Florianópolis.
- Cantú, E., Farines, J. M. e Angotti, J. A. (2004a). Uma Abordagem para Ensinar e Aprender Redes de Computadores Baseada em Mapas Conceituais, *Anais do XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC2004)*, *Workshop de Ensino de Informática (WEI)*, Salvador.
- Cantú, E., Farines, J. M. and Angotti, J. A. (2004b). Using a Thematic Approach and Concept Maps in Technological Courses, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 2, Pamplona, Spain, pp. 119–122.
- Cantú, E., Farines, J. M. and Angotti, J. A. (2004c). Using Learning Theories for Education on the Web: A Web Application for Teaching and Learning Computer Networks, in J.-P. Courtiat, C. Davarakis and T. Villemur (eds), *Technology Enhanced Learning (TEL04)*, *Proceedings of 18th IFIP World Computer Conference (WCC2004)*, Springer, Toulouse, France, pp. 157–166.

- Carnot, M. J., Dunn, B. and Cañas, A. J. (2001). *Concept Maps vs. Web Pages for Information Searching and Browsing*, Institute for Human and Machine Cognition, University of West Florida, USA. <http://cmap.coginst.uwf.edu>.
- Castells, M. (1999). *A Sociedade em Rede*, 2 ed, Paz e Terra, São Paulo, cap. 1 - A Revolução da Tecnologia da Informação.
- Chou, C. (1999). Developing Hypertext-based Learning Courseware for Computer Networks: The macro and micro stages, *IEEE Transaction on Education* **42**: 39–44.
- Clark, D. D. (1988). The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols, *Proceedings of SIGCOMM'88, Computer Communication Review* **18**(4): 106–114. <http://www.acm.org/sigcomm/ccr/archive/1995/jan95/ccr-9501-clark.html>.
- Comer, D. E. (2000). *Internetworking with TCP/IP*, v. 1 - Principles, Protocols and Architecture, 4 ed, Prentice Hall.
- Comer, D. E. and Stevens, D. L. (1999). *Internetworking with TCP/IP*, v. 2 - Design, Implementation and Internals, third ed, Prentice Hall.
- Comer, D. E. and Stevens, D. L. (2001). *Internetworking with TCP/IP*, v. 3 - Client-Server Programming and Applications - Linux/Posix Version, Prentice Hall.
- Cornwell, P. J. (2000). Concept Maps in the Mechanical Engineering Curriculum, *Proceedings of the American Society of Engineering Education Conference*.
- Darmofal, D. L., Soderholm, D. H. and Brodeur, D. R. (2002). Using Concept Maps and Concept Questions to Enhance Conceptual Understanding, *Proceedings of 32th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boston, USA.
- Day, J. and Zimmerman, H. (1983). The OSI Reference Model, *Proceedings of the IEEE* **71**: 1334–1340.
- Delizoicov, D. (2001). Problemas e Problematisações, Oliveira, M. P. (Org.). *Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia em uma Concepção Integradora*, EDUFSC, Florianópolis.
- Delizoicov, D. e Angotti, J. A. (1994). *Metodologia do Ensino de Ciências*, Coleção Magistério Segundo Grau, 2 ed, Cortez, São Paulo.
- Delizoicov, D., Angotti, J. A. e Pernanbucó, M. M. (2003). *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*, Docência em Formação, Cortez, São Paulo.
- Delors, J. (ed.) (2000). *Educação: Um tesouro a descobrir*, 4 ed, Cortez, Brasília. Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI, 1996.

- Demo, P. (1999). Profissional do futuro, *Linsingen, I. V. et al. (Org.). Formação do Engenheiro: Desafios da Atuação Docente, Tendências Curriculares e Questões da Educação Tecnológica*, EDUFSC, Florianópolis, pp. 29–50.
- Feyerabend, P. (1977). *Contra o Método*, Francisco Alves, Rio de Janeiro, cap. I e XVIII.
- Fleck, L. (1986). *La Génesis y el Desarrollo de um Hecho Científico*, Alianza Editorial, Madrid.
- Freire, P. (1981). *Pedagogia do Oprimido*, Paz e Terra, Rio de Janeiro.
- Freire, P. (1986). *Educação como Prática da Liberdade*, Paz e Terra, Rio de Janeiro.
- Gadotti, M. (1996). *Paulo Freire: Uma Bibliografia*, Cortez, Brasília, Quinta Parte - 36.
- Menezes, L. C. Paulo Freire e os físicos. UNESCO.
- García, F. G., Moya, F. C. I., Sarasíbar, J. C., Rodríguez, J. J. L. y Novak, J. D. (2000). *Una Aportación a la Mejora de la Calidad de la Docencia Universitaria: Los Mapas Conceptuales*, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, Spain.
- Gouveia, V. and Valadares, J. (2004). Concept Maps and the Didactic Role of Assessment, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 303–309.
- GRAF (ed.) (1990). *Física 1 - Mecânica*, EDUSP, São Paulo. Grupo de Reelaboração do Ensino de Física.
- GRAF (ed.) (1991). *Física 2 - Física Térmica e Óptica*, EDUSP, São Paulo. Grupo de Reelaboração do Ensino de Física.
- GRAF (ed.) (1995). *Física 3 - Eletromagnetismo*, EDUSP, São Paulo. Grupo de Reelaboração do Ensino de Física.
- Holton, G. (1979). *A Imaginação Científica*, Zahar, Rio de Janeiro.
- Khalifa, M. and Lam, R. (2002). Web-Based Learning: Effects on Learning Process and Outcome, *IEEE Transaction on Education* **45**(4): 350–356.
- Kleinrock, L. (1976). *Queueing System*, v. II: Computer Applications, John Wiley, USA.
- Kuhn, T. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Perspectiva, São Paulo.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2000). *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, Addison Wesley.

- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2002). *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, 2 ed, Addison Wesley. <http://www.awl.com/kurose-ross>.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2004). *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, 3 ed, Addison Wesley.
- Lakatos, I. (1979). O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica, *Lakatos, I. E Musgrave, A. (Org.) A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*, Cultrix, São Paulo.
- Lanz, R. (1998). *A Pedagogia Waldorf: Caminho para um Ensino mais Humano*, 6 ed, Antroposófica, São Paulo.
- Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Postel, D. C. L. J., Roberts, L. G. and Wolff, S. (1998). A Brief History of the Internet. <http://www.isoc.org/internet/history/brief.html>.
- Lopes, A. R. C. (1993). Contribuições de Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências, *Enseñanza de las Ciencias*, v. 10, Universidade Autônoma de Barcelona, Barcelona.
- Lopes, A. R. C. (1996). Bachelard: O Filósofo da Desilusão, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13.
- María, R. d. y Irma, S. (2004). El Mapa Conceptual como Elemento Fundamental en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje de la Física a Nivel Universitario, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 527–534.
- Metcalf, R. M. and Boggs, D. R. (1976). Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks, *Communications of the Association for Computing Machinery* **19**(7): 396–404. <http://www.acm.org/classics/apr96/>.
- Moreira, M. A. (1983). *Uma Abordagem Cognitiva ao Ensino de Física - A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização do Ensino de Ciências*, UFRGS, Porto Alegre.
- Moreira, M. A. (1998). *Aprendizagem Significativa*, UnB, Brasília.
- Moreira, M. A. (2000). Aprendizagem Significativa Crítica, *Atas do III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa*, Peniche, Portugal, pp. 33–35.
- Moura, J. A. B., Sauv  , J. P., Giozza, W. F. e Araujo, J. F. M. (1986). *Redes Locais de Computadores - Protocolos de Alto N  vel e Avalia  o de Desempenho*, McGraw Hill.

- Novak, J. D. (2002). The Need for Leadership to Transform Education to Empower Learning, in U. de Navarra (ed.), *Día de la Universidad: Investidura del Professor Joseph D. Novak como Doctor Honoris Causa de la Universidad de Navarra*, Pamplona, Spain.
- Novak, J. D. (2003). The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them, Institute for Human and Machine Cognition, University of West Florida, USA. <http://cmap.coginst.uwf.edu> (acesso em dezembro de 2003).
- Novak, J. D. (2004). A Science Education Research Program that Led to the Development of the Concept Map Tool and a New Model for Education, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 457–467.
- Novak, J. D. and Cañas, A. J. (2004). Building on New Constructivist Ideas and Cmaptools to Create a New Model for Education, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 469–476.
- Oliveira, M. and Peyrin, J.-P. (1991). Minhonix: A Distributed System for Teaching, *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC1991)*, Florianópolis.
- Osterman, F. (1996). A Epistemologia de Kuhn, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13.
- Pacey, A. (1990). *La Cultura de la Tecnologia*, Fonde de Cultura Económica, Cidade do Mexico.
- Palmero, M. L. R. (2004). La Teoría del Aprendizaje Significativo, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 535–544.
- Papert, S. (1988). *LOGO: Computadores e Educação*, 3 ed, Brasiliense, São Paulo.
- Papert, S. (1994). *A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática*, Artes Médicas, Porto alegre.
- Peterson, L. L. and Davie, B. S. (2000). *Computer Networks: A System Approach*, 2 ed, Morgan Kaufmann, USA.
- Peterson, L. L. and Davie, B. S. (2003). *Computer Networks: A System Approach*, 3 ed, Morgan Kaufmann, USA.
- Piaget, J. (1990). *Epistemologia Genética*, Coleção Universidade Hoje, Martins Fontes, São Paulo.

- Popper, K. (1985). *A Lógica da Pesquisa Científica*, EDUSP, São Paulo.
- Pérez, A. L., Suero, M. I., Montanero, M. y Pardo, P. J. (2004). Applicationes de la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein a la Enseñanza de la Física: Una proposta baseada en la utilización del programa informático CmapTools, in A. J. Cañas, J. D. Novak and F. G. García (eds), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology - Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, v. 1, Pamplona, Spain, pp. 519–526.
- Ramos, E. F. (1996). *Análise Ergonômica do Sistema HiperNet Buscando o Aprendizado da Cooperação e da Autonomia*, Tese de doutorado em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- Reigeluth, C. M. and Stein, F. S. (1983). The Elaboration Theory of Instruction, in C. M. Reigeluth (ed.), *Instructional Design: Theories and Models: An overview of their current status*, L. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, pp. 335–381.
- Schwartz, M. (1977). *Computer Communication Networks: Design and Analysis*, Prentice Hall, New Jersey.
- Silveira, F. L. (1996a). A Filosofia da Ciência de Karl Popper: O racionalismo crítico, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13.
- Silveira, F. L. (1996b). A Metodologia dos Programas de Pesquisa: A Epistemologia de Imre Lakatos, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13.
- Silveira, M. A. and Carmo, L. C. S. (1999). Sequential and Concurrent Teaching: Structuring hands-on methodology, *IEEE Transaction on Education* **42**: 103–108.
- Snyders, G. (1988). *A Alegria na Escola*, Manole, São Paulo.
- Soares, L. F. G., Lemos, G. e Colcher, S. (1995). *Redes de Computadores - Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM*, Campos, Rio de Janeiro.
- Stallings, W. (2000). *Data and Computer Communications*, 6 ed, Prentice Hall.
- Suruagy, J. A., Martins, J. S. B. e Giozza, W. F. (2000). Uma Proposta de Plano Pedagógico para a Matéria Redes de Computadores, *Anais do II Curso: Qualidade de Cursos de Graduação da Área de Computação e Informática*, Champagnat, Curitiba, pp. 149–184.
- Tanenbaum, A. S. (1981). *Computer Networks*, Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. S. (1988). *Computer Networks*, 2 ed, Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. S. (1996). *Computer Networks*, 3 ed, Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Computer Networks*, 4 ed, Prentice Hall.

- Tarouco, L. M. R. (1986). *Redes de Computadores: Locais e de Longa Distância*, McGraw Hill, São Paulo.
- Tarouco, L. M. R. e Dutra, R. L. S. (2003). O Ensino de Redes de Computadores Apoiado por um Ambiente de Aprendizado Orientado a Problemas, *Anais do XXIII Congresso da Sociedade de Computação (SBC2003)*, Campinas.
- Turns, J., Atman, C. J. and Adams, R. (2000). Concept Maps for Engineering Education: A Cognitively Motivated Tool Supporting Varied Assessment Function, *IEEE Transaction on Education* **43**(2): 164–173.
- Vallim, M. B. R. (2000). *Em Direção a Melhoria do Ensino na Área Tecnológica: A Experiência de uma Disciplina de Introdução à Engenharia de Controle e Automação*, Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica, UFSC, Florianópolis.
- Vallim, M. B. R., Farines, J.-M. and Cury, J. E. R. (2000). Developing Abstract Concepts and Professional Skills by Hand-On Approach in an Engineering Context, *Proceedings of ICECE2000: II Internacional Conference on Engineering and Computer Education*, São Paulo.
- Vygotsky, L. S. (1991). *A Formação Social da Mente: O desenvolvimento de processos psicológicos superiores*, 4 ed, Martins Fonste, São Paulo.
- Winner, L. (1997). *La Balena y el Reactor: Uma Busqueda de los Limites em la Era de la Alta Tecnologia*, Gedisa, Barcelona.
- Zylbersztjn, A. (1991). Revoluções Científicas e a Ciência Normal na Sala de Aula, *Tópicos em Ensino de Ciências*, Sagra, Porto Alegre.